

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TTK KOZLU VE ÜZÜLMEZ MÜESSESELERİNDEKİ KÖMÜR VE YAN
KAYACIN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus İSKENDER

KASIM 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TTK KOZLU VE ÜZÜLMEZ MÜESSESELERİNDEKİ KÖMÜR VE YAN
KAYACIN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Yunus İSKENDER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"MADEN YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 / 09 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 01 / 11 / 2024

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Kadir KARAMAN

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim dalında hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi kapsamında, Türkiye Taşkömürü Kurumu bünyesinde faaliyetlerine devam eden Üzülmaz ve Kozlu Müesseselerinden yerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen örnekler ile kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler ile birlikte ocaklardaki kömür ve yan kayaçların jeomekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu süreçte danışmanlığımı yapan Doç. Dr. Kadir KARAMAN 'a süreç boyunca bilgi birikimini benden esirgemediği, yeri geldiğinde hoca yeri geldiğinde adeta bir abi gibi destek olduğu ayrıca akademik, laboratuvar ve saha çalışmalarım sırasında bana yol gösterdiği için kendisine en içten teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması boyunca bana katkıları ve tavsiyeleriyle bu süreci kolay hale getirdikleri için KTÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nün tüm öğretim üyelerine ve en önemlisi bu tezin, tez savunma jürisi başkanı Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ ve jüri üyesi Doç. Dr. Gökhan KÜLEKÇİ hocalarıma katkılarından ötürü çok teşekkür ederim.

Öncelikle bu çalışmanın var olmasını sağlayan TTK yönetim kuruluna, çalışmalarım sırasında bütün imkanları sağlayan müessese yöneticileri ve bilgi birikimleri ve sahadaki tecrübeleri ile bana yardımcı olan TTK'nın kıymetli Maden Mühendislerine teşekkürü bir borç bilirim.

Tez sürecinde çokça fikir alışverişinde bulunduğum ve teknik bilgisinden faydalandığım, tanıştığım günden bu yana yaklaşık 14 yıllık süre boyunca desteğini hissettiğim, zor zamanlarımda yanımda olup hüznümü paylaşan, iyi günlerimde mutluluğuma ortak olan çok kıymetli çocukluk arkadaşım Jeoloji Mühendisi Alperen BEKAR 'a teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimime başladığım günden beri destek olan annem Barışay İSKENDER, babam Abdurrahman İSKENDER, kardeşlerim Yasin İSKENDER ve Yücel Taha İSKENDER 'e şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Yunus İSKENDER

Trabzon, 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “TTK Kozlu ve Üzülmaz Müesseselerindeki Kömür ve Yan Kayacın Jeomekanik Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Kadir KARAMAN ‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 01/11/2024

Yunus İSKENDER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kömürün Tanımı	1
1.2.1. Kömürlerin Sınıflandırılması	1
1.2.2. Turba	2
1.2.3. Linyit.....	2
1.2.4. Taşkömürü	3
1.2.5. Antrasit.....	3
1.3. Dünyada Kömürün Önemi	3
1.3.1. Dünyada ve Türkiye’de Kömür Rezervi	3
1.4. Kömür Üretim Yöntemleri	4
1.4.1. Açık İşletme Üretim Yöntemleri.....	4
1.4.2. Yeraltı Üretim Yöntemleri	5
1.5. Zonguldak Taşkömürü Havzası Genel Bilgileri.....	5
1.6. Uzun Ayaklarda Tahkimat Sistemleri	6
1.7. TTK Üzülmaz Müessesesinde Uygulanan Yarı Mekanize Tahkimat Sistemi.....	9
1.7.1. Üzülmaz Müessesesinde Çalışılan Kömür Damarları	10
1.7.2. Kirişli Yarı Mekanize Tahkimat Sistemi	11
1.7.3. Üstten Yürütmeli Zincirli Yarı Mekanize Tahkimat Sistemi.....	12
1.7.4. Yarı Mekanize Tahkimat ile Üretim Aşamaları.....	13
1.7.5. Yarı Mekanize Tahkimatın Avantaj ve Dezavantajları.....	14
1.8. Kazılabilirlik Tayininde Kullanılan Yöntemler	15

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	18
2.1. Giriş.....	18
2.1.1. Yeraltında Yapılan Gözlemler	21
2.1.2. Deneye Hazırlık Çalışmaları	22
2.2. Leeb Sertlik Testi	23
2.3. Ultrasonik Dalga Hızı Testi.....	24
2.4. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Testi	25
2.5. Endirekt Çekme Dayanımı Testi	26
2.6. Nokta Yük Dayanımı İndeksi.....	28
3. BULGULAR VE İRDELEME	30
3.1. Laboratuvar Deney Sonuçları.....	30
3.1.1. Yoğunluk ve Porozite.....	30
3.1.2. Leeb Testi Sonuçları	31
3.1.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Nokta Yüğü Dayanım İndeksi, Endirekt Çekme Dayanımı ve Ultrasonik P Dalga Hızı Deney Sonuçları	32
3.1.4. TTK Kozlu ve Üzölmez Müesseselerinde Farklı Ocaklardan Alınan Kömür ve Yan Kayacın Veriler Kapsamında Değerlendirilmesi.....	35
3.2. Kazılabilirliğin Değerlendirilmesi.....	37
4. SONUÇLAR.....	44
5. KAYNAKLAR	45
6. EKLER.....	50
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TTK KOZLU VE ÜZÜLMEZ MÜESSESELERİNDEKİ KÖMÜR VE YAN KAYACIN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yunus İSKENDER

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Kadir KARAMAN
2024, 49 Sayfa, 4 Sayfa Ek

Zonguldak Taşkömürü Havzası ülkemizde taşkömürü üretimi yapılan tek havza konumundadır. Üretim Türkiye Taşkömürü Kurumu bünyesindeki müesseseler tarafından yeraltı ocaklarında gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada Türkiye Taşkömürü Kurumu bünyesinde üretim faaliyetlerine devam eden Kozlu ve Üzülmöz Müesseselerinde üretim bölgelerinden, Nefeslik ve hazırlık galerileri sürülen bölgelerden alınan farklı kömür ve kayaç bloklarıyla örnekler hazırlanarak ilgili laboratuvarlarda kaya mekaniği (tek eksenli basınç dayanımı (UCS), nokta yükü dayanım indeksi (PLI), çekme dayanımı, Ultrasonik P dalga hızı (UPV), Leeb sertliği, yoğunluk ve su emme) deneyleri yapılmıştır. Bu sayede kömür ve yan kayaçların jeomekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Kayaç blokları laboratuvara getirildiğinde öncelikle örselenmeden leeb sertliği testi bloklarda pürüzlü ve pürüzsüz yüzeylerde gerçekleştirilmiştir. Düzgün karot alınabilen numunelerin ultrasonik P dalga hızı değerleri belirlenmiş ve bu NX çaplı ve 1.5, 2, 2.5 L/D oranlarında hazırlanan karotlarda tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kayaç bloklarından hazırlanan NX çaplı silindirik örnekler, çekme dayanımı ve nokta yük dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca deney sonuçları dikkate alınarak kömür ve yan kayaçlar için kazılabilirlik tahmini yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: UCS, PLI, UPV, Leeb sertliği, Zonguldak taşkömürü havzası

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF GEOMECHANICAL PROPERTIES OF COAL AND SURROUNDING ROCK IN TTK KOZLU AND UZULMEZ INSTITUTIONS

Yunus ISKENDER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Kadir KARAMAN
2024, 49 Pages, 4 Pages Appendix

The Zonguldak Hard Coal Basin is the only region in Turkey where hard coal is produced. Production is carried out in underground mines operated by the Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK). In this study, samples were prepared from different coal and rock blocks collected from production zones, ventilation drifts, and development galleries in the Kozlu and Üzülmöz Mines, which are part of the TTK. Various rock mechanics tests were conducted in relevant laboratories, including uniaxial compressive strength (UCS), point load index (PLI), tensile strength, ultrasonic P-wave velocity (UPV), Leeb hardness, density, and water absorption tests. The aim was to examine the geomechanical properties of coal and surrounding rocks.

When the rock blocks were brought to the laboratory, initial Leeb hardness tests were performed on rough and smooth surfaces without causing sample disturbance. Ultrasonic P-wave velocity values were determined for cores with a proper shape, and uniaxial compressive strength tests were conducted on NX-diameter cores prepared at 1.5, 2, and 2.5 length-to-diameter (L/D) ratios. NX-diameter cylindrical samples prepared from the rock blocks were also subjected to tensile strength and point load strength tests. Additionally, taking into account the test results, a excavability estimate was made for coal and surrounding rocks.

Key Words: UCS, PLI, UPV, Leeb hardness, Zonguldak hard coal basin

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Ülkelerin görünür kömür rezervleri (URL-1)	4
Şekil 2. Ağaç tahkimat uygulaması (Ahıska ve Esen, 1987)	7
Şekil 3. Hidrolik direk şematik görünümü ve ayak içindeki uygulaması (Ahıska ve Esen, 1987; Çetinkaya, 2019)	8
Şekil 4. Çin tipi yarı mekanize olarak anılan yarı mekanize tahkimat sistemi (Çetinkaya, 2019)	9
Şekil 5. Zonguldak jeoloji haritası kesiti (TTK, 2022)	11
Şekil 6. Kirişli Yarı mekanize tahkimat sistemi ayak içi görünümü (TTK, 2022).....	12
Şekil 7. Zincirli yarı mekanize sistemin ayak içi şilt dizilimi ve ilerletimi (TTK, 2022).....	13
Şekil 8. TTK Üzülmüş Müessesesi zincirli yarı mekanize tahkimat ile üretim aşamaları (TTK, 2022).....	14
Şekil 9. Vardiya sonu kuyu başından bir görüntü (Üzülmüş Müessesesi)	18
Şekil 10. Yeraltında kayaç bloğuna Schmidt çekici uygulaması.....	20
Şekil 11. Yan kayaçtaki tabakalı yapı (a), kömür ve yan kayaç örnekleri (b), hazırlık aynasındaki yan kayacın süreksizlikleri (c), kömürde görülen yapraklı tabakalanma (d).....	20
Şekil 12. Kozlu -447 kotu nefeslik aynası şematik çizimi (a), Karadon -540 kotu hazırlık galerisi aynası şematik çizimi (b), Kozlu -500 hazırlık tabanyolu aynası şematik çizimi (c), Üzülmüş -260 kotu hazırlık galerisi aynası şematik çizimi (d), Kozlu -425 kotu 1. Kariye ayak içi arının bir bölümünün şematik çizimi (e)	22
Şekil 13. Karot alma işlemi (a), karot kesme makinesi içi görünümü (b), karot kesme işlemi (c)	23
Şekil 14. Leeb sertlik testi cihazı seti (a), Leeb cihazı ile kalibrasyon örsüne örnek ölçüm (b), Leeb testi gerçekleştirilen bir pürüzsüzleştirilmiş kömür yüzeyi (c)	24
Şekil 15. Ultrasonik dalga hızı testi yapılışı	25
Şekil 16. Tek eksenli basınç dayanımı testi yapılışı	26
Şekil 17. Endirekt çekme dayanımı deneyi	27
Şekil 18. Nokta yükü dayanımı indeksi deneyi yapılışı	29
Şekil 19. 1.5, 2 ve 2.5 L/D oranlarında hazırlanan kömür örnekleri	36
Şekil 20. Kömür ve yan kayaçların pürüzlü-pürüzsüz yüzeylerinin leeb sertliğine etkisi	37

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Linyit ile turbayı ayıran ölçütler (Güldan, 2010)	2
Tablo 2. Kazılabilirliğin belirlenmesi amacı ile hazırlanmış sınıflama sistemleri ve kullanılan parametreler (İphar, 2004)	17
Tablo 2. Yoğunluk ve görünür porozite	30
Tablo 3. Leeb sertlik testi sonuçları.....	32
Tablo 4. Kömür ve yan kayaç örneklerinin ortalama test sonuçları.....	35
Tablo 5. Sismik hız değerleriyle kazılabilirlik sınıflaması (Weaver, 1975).....	38
Tablo 6. Kazılabilirlik ile ilgili puanlama sistemi (Müftüoğlu ve Scoble, 1985).....	38
Tablo 7. Kumtaşı örnekleri için kazılabilirliğin tahmini.	39
Tablo 8. Marn örnekleri için kazılabilirliğin tahmini	40
Tablo 9. Kömür örnekleri için kazılabilirlik tahmini	40
Tablo 10. Kazılabilirlik derecelendirme tablosu (Başarır ve Karpuz, 2004).....	41
Tablo 11. UPV/UCS oranı ve Schmidt sertliğine göre sınıflama (Karaman ve Kesimal, 2015)	41
Tablo 12. Kumtaşı örnekleri için ikinci yöntemle kazılabilirlik tahmini	42
Tablo 13. Marn örnekleri için ikinci yöntemle kazılabilirlik tahmini	42
Tablo 14. Kömür örnekleri için ikinci yöntemle kazılabilirlik tahmini	43

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Alan
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetre kare
cm ³	: Santimetre küp
CO ₂	: Karbondioksit
D	: Çap
De	: Eşdeğer karot çapı
F	: Boyut düzeltme faktörü
gr	: Gram
HL	: Leeb sertliği
HSL	: L tipi schmidt çekici sertliği
Is	: Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi
Is ₍₅₀₎	: 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş nokta yük dayanımı
km	: Kilometre
L	: Boy
m	: Metre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
NX	: 54,7 mm standart karot çapı
P	: Yenilme yükü, örneği kıran kuvvet, Primer dalga
PLI	: Nokta yük dayanımı indeksi
T.E.B.D.	: Tek eksenli basınç dayanımı
TTK	: Türkiye Taşkömürü Kurumu
UCS	: Tek eksenli basınç dayanımı
σ	: Normal gerilme
σ_t	: Çekme gerilmesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bu çalışma kapsamında Zonguldak taşkömürü havzasındaki Kozlu ve Üzülmüş Müessesesi ocaklarındaki kömür ve yan kayacın jeomekanik özellikleri incelenmiştir.

1.2. Kömürün Tanımı

Kömür değişik oranlarda inorganik yapıcı ve organik bileşenler içeren tortul bir kayadır. Kömürün ana elemanı karbondur. Kömür oluşumu karbon çevrimiyle ilgilidir. Kömürleşme bataklıklarda başlar. Kömürleşme kaynakları ise bitkiler, havadan veya yüzey sularından alınan karbondioksit CO₂'dir. Kömür bitkiler, ağaçlar ve benzeri organik canlıların bataklıklarda çürümeden korunmasıyla zamanla fiziksel ve biyokimyasal etkilerle değişime uğrayarak oluşur. Kömür yanma özelliği olan karbonca zengin organik sedimanter bir kayadır. Meydana geliş zamanları ve içeriğindeki karbon miktarı ile birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Oluşumu sırasında maruz kaldıkları basınç ve sıcaklık ve zamanla birlikte doğru orantılı olacak şekilde ısı değerleri de o derece yüksektir. Kömürleşme süreci önceleri turba olarak isimlendirilen ancak kömür sayılmayan organik madde ile başlar. Koşullar uygun olursa, ilk olarak linyit sonrasında alt bitümlü kömür, taşkömürü, antrasit ve son olarak grafit dönüşür. Bu sürece kömürleşme adı verilmiştir. Kömürün bu süreçteki ismi ile anlaşılan konumu ise kömürleşme derecesini (rank) ifade eder (Çolpan, 2019).

1.2.1. Kömürlerin Sınıflandırılması

Kömürlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, Kömürlerin sınıflandırılmasında ve kömür kalitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kömürleşme ortamındaki sıcaklık ve basıncın artması, kömür bünyesindeki suyun ve uçucu maddenin azalmasına ancak karbon oranı ve kalorisinin artmasına neden olmaktadır. Bu fiziksel ve kimyasal değişimler sonucunda sırasıyla; turba, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür (taşkömürü), antrasit, grafit kömür türleri oluşmaktadır (Çolpan, 2019).

1.2.2. Turba

Biyokimyasal kömürleşmeye uğramış en genç kömür türüdür. Renkleri sarı, kahverengi ve siyah olabilen turbaların sertliği azdır. Turbalarda odunumsu yapıyı görebilmek mümkündür. Linyit ile turba arasındaki sınır keskin değilse de ikisini ayırt edebilmek adına bazı özellikler kullanılır (Güldan, 2010). Linyit ile turbayı ayıran ölçütler Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Linyit ile turbayı ayıran ölçütler (Güldan, 2010)

	Turba	Linyit
Rutubet	>75	<75
Karbon	<60	>60
Serbest Selülöz	Var	Yok
Kesilebilirlik	Evet	Hayır

1.2.3. Linyit

Linyitler diğer kömür sınıflarına göre çok daha geniş bir bantta bulunmaktadır. Orijinal nem içerikleri de bu bant gibi kömürleşme derecesine göre farklılık göstermektedir. Jeokimyasal kömürleşmenin artması orijinal nem içeriğinin azalmasıyla doğru orantılı olmaktadır. Orijinal nem içeriği yumuşak kömürlerde daha fazladır. Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre, yumuşak ve sert linyitler olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Yumuşak linyitler, %35-75 arasında orijinal neme sahiplerdir. Yumuşak linyitlerde parça bütünlüğü oldukça azdır. Duraylılığı bozulduktan sonra o haliyle bekletildiğinde kısa zamanda toz kömür haline gelmektedirler. Su ile muamele edildiğinde bünyelerine su alarak şiştiği ve akabinde dağıldığı gözlenebilmektedir. Bu durum sebebiyle linyit kömürleri herhangi bir işlem görmeden ocak çıkışı halleriyle ev yakıtı olarak dahi kullanımı mümkün değildir (Kemal, 1991; Güldan, 2010).

Sert linyitler, yumuşak linyitlerin bittiği noktadan taşkömürlerine kadar olan bant aralığındadır. Sert linyitlerin sağlamlığı yumuşak linyitlere göre daha fazladır. Bu türün orijinal nem içeriği düşük olanları taşıma ve depolama sırasında oldukça az tozlanır veya

tozlanmaz. Orijinal nem oranları linyitlerin sağlamlılığıyla ters orantılı olarak biri arttıkça diğeri azalmaktadır (Kemal, 1991; Güldan, 2010).

1.2.4. Taşkömürü

Taşkömürlerinin nem oranları %1-2 seviyesindedir. Karbon oranı yüksektir. Taşkömürleri sağlam yapıları ve düşük nem içerikleri sayesinde taşınma veya depolama durumunda bütünlüklerini büyük oranda korurlar. Yüksek karbon oranı ve kalitesi sayesinde yüksek ısı değerine sahiptirler. Bu nedenle taşkömürlerinin geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır (Gökçeğül, 2007; Güldan, 2010).

1.2.5. Antrasit

Bu kömüre Galler'de kaya kömürü denmekte ve Amerika 'da sert kömür olarak anılmaktadır. Koyu hafif mat karanlık bir dış görünüşü vardır. Yandığında is veya toz çıkarmaması ve yanma süresinin uzunluğu nedeniyle çokça ev yakıtı olarak aranmaktadır (Gökçeğül, 2007; Güldan, 2010).

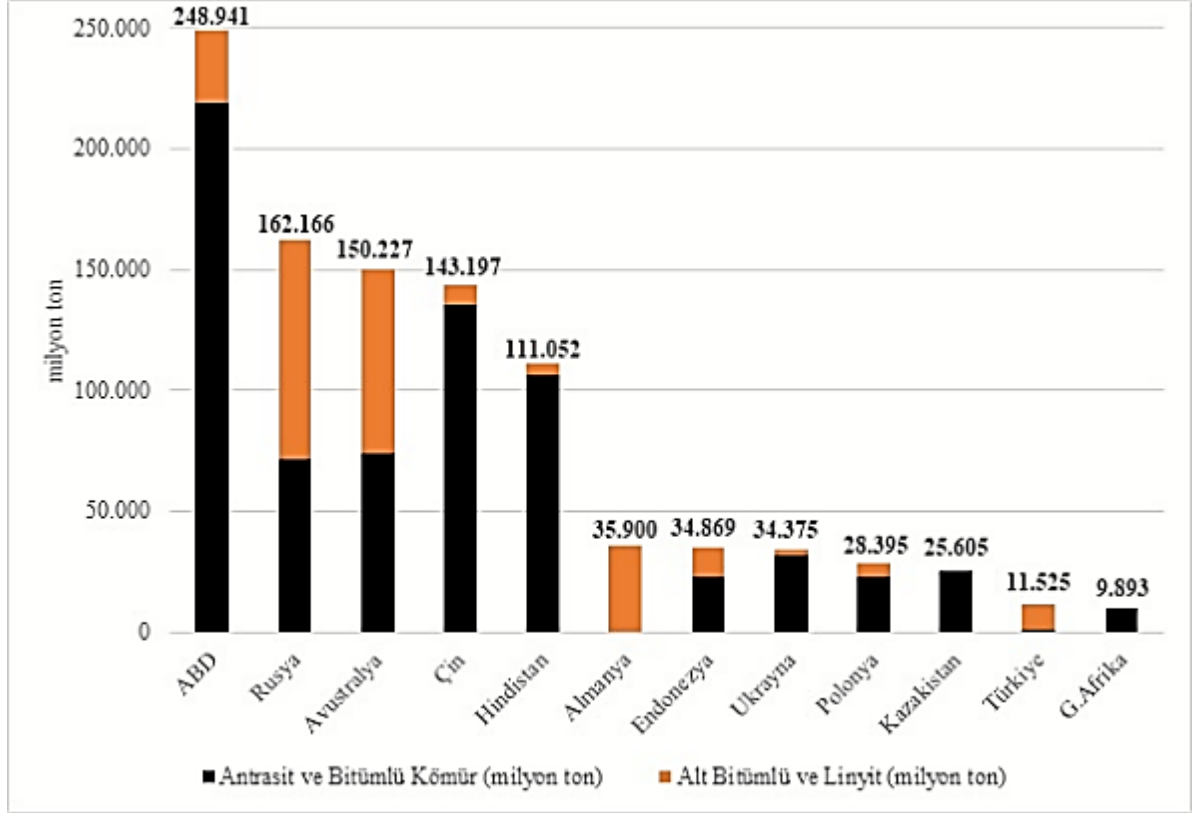
1.3. Dünyada Kömürün Önemi

Dünya genelinde bol miktarda bulunmasıyla birlikte kömürün fosil yakıtlar içerisindeki değeri dünya piyasaları açısından önemlidir. Ülkelerin enerji arz güvenliklerini sağlamak adına kömüre yönelmesi ve kömürün ekonomik bir yakıt olması bu enerji kaynağının dünya genelinde üretim ve tüketimini arttırmaktadır. Küresel enerji arzı için üretimin birinci sırasını %31.7 ile petrol alırken, ikinci sırada %28.1 gibi yüksek bir oranla kömür gelmektedir. Bu bilgiye göre dünyada enerji ihtiyacının dörtte birinden fazlasının kömürle karşılandığı görülmektedir. Bu oranın kömürün küresel piyasalar açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Kavaz, 2019).

1.3.1. Dünyada ve Türkiye'de Kömür Rezervi

Kömür rezervlerinin büyük bölümü Kuzey Amerika ve Asya kıtalarında bulunmaktadır. 2022 yılı verilerine göre dünyadaki toplam görünür kömür rezervi 1.07 trilyon tondur. Bunun %70 'ini 753.6 milyar tonla antrasit ve bitümlü kömürler oluşturmaktadır, kalan %30

'luk rezerv ise 320.5 milyar ton ile alt bitümlü kömür ve linyit grubuna aittir. Dünya ülkelerinde ve ülkemizdeki kömür rezerv bilgisi Şekil 1'de gösterilmiştir (URL-1).



Şekil 1. Ülkelerin görünür kömür rezervleri (URL-1)

1.4. Kömür Üretim Yöntemleri

1.4.1. Açık İşletme Üretim Yöntemleri

Ülkemizde Linyit üretimi hemen hemen %90 oranında açık işletme madenciliğiyle üretilmektedir. Açık işletmelerde kullanılan makinalar yüksek kapasiteli iş ekipmanlarıdır. Ekipman kapasitelerinin artması açık işletmelerde gerçekleştirilen üretimi de arttırmaktadır. Açık İşletmelerde üretim sistemleri, sürekli ve süreksiz üretim sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Kazının yükleme ve nakliyatın kesintisiz olarak gerçekleştirildiği sürekli üretim sistemi büyük işletmeler için birinci seçenek konumundadır. Sistemin sürekliliğini sağlayan kazıcı ekipmanlar, döner kepçeli ekskavatör ve zincirli ekskavatörler, surface miner gibi

kazıcı-yükleyici makinalardır. Nakliye sistemi olarak ise bant konveyörler, aktarıcı konveyörler ve demiryolu nakliyat sistemleri kullanılmaktadır.

Genellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerde görülen süresiz sistemde makine ve ekipmanlar çok çeşitlilik göstermektedir. En yaygın olanları ekskavatör, kamyon ve yükleyiciden veya dragline, ekskavatör ve kamyondan oluşmaktadır (D.P.T., 2001; Güldan, 2010).

1.4.2. Yeraltı Üretim Yöntemleri

Açık işletme ile kıyaslandığında yeraltı işletmeciliğinde kullanılan üretim yöntemleri çok çeşitlilik göstermektedir. Türkiye 'de kömür madenciliği için yeraltı üretim yöntemi seçimi kazı arını durumuna göre; uzun kazı arınlı (uzun ayak, diyagonal ayak), dar kazı arınlı (tavan ayak, taban ayak), topuklu (göçertmeli topuklu, dolgulu topuklu, çapraz topuklu, travers ayak, arakatlı topuklu ayak), oda yöntemleri (oda-topuk yöntemi, tali katlı göçertme) ve blok yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde uygulamada en çok görüleni uzun ayak yöntemleridir. Uzunayak yöntemleri, ilerletimli veya dönümlü ve göçertmeli veya dolgulu uzun ayak olarak uygulanmaktadır. TTK Türkiye 'de taşkömürü üretimi yapan tek kurum konumundadır. TTK ocaklarında ise üretimin tamamı yeraltı işletmeciliği ile gerçekleştirilmektedir (D.P.T., 2001; Güldan, 2010).

Günümüzde TTK Müesseselerinde tahkimatın mekanize tavan plakaları (şilt) ile üretimin ise klasik kazı yöntemleri ile (delme patlatma) ile sağlandığı uzunayak yöntemleri ile üretim yapılmaktadır. Damar yapısına göre (eğim, kalınlık vb.) üretimde kullanılacak ekipmanlar ve kullanış biçimleri farklılık göstermektedir. Bu farklılıklara örnek vermek gerekirse, eğimi yüksek damarlarda esnek yarı mekanize sistem kullanılmaktadır. Burada eğim uzun ayaklar için ideal olan %5-12 seviyesinden çok fazladır. Üzülmüş müessesesinde 2023 yılında işletilen bir panoda damar eğimi yaklaşık %60 ve ayak eğimi %30-45 arasında olduğu görülmüştür. TTK müesseselerinde yine tahkimat elemanlarının kullanış biçimine göre zincirli ve kirişli yarı mekanize tahkimat sistemleri kullanılmaktadır (İskender ve Karaman, 2023).

1.5. Zonguldak Taşkömürü Havzası Genel Bilgileri

Zonguldak Taşkömürü Havzası, Karadeniz'in batı sahillerinde Ereğli ile İnebolu arasındadır. Yaklaşık olarak 160 km doğu-batı yönünde yayılım göstermektedir. Zonguldak,

Bartın, Karabük ve Kastamonu illerinin idari sınırları içerisinde yer almaktadır. Havzada TTK'nın Kozlu, Üzülmüş, Karadon, Armutçuk ve Amasra Müessese Müdürlükleri olmak üzere beş ana müessese ocaklarında üretim sağlanmaktadır. Havzada ulaşım karayolları, demir yolları ve deniz yoluyla sağlanabilmekte ve ulaşımında herhangi bir sorun yaşanmamaktadır. Havzada iller ve ilçeler karayollarıyla birbirine bağlıdır. Kurulu demiryolu ağı, kömürün üretildiği bölgelerde ürünlerin, malzemelerin ve insanların taşınmasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Bununla birlikte Zonguldak- Karabük ve Ankara arasında ulaşım kolaylıkla sağlanmaktadır. Karayolu ve demiryolu seçenekleri ulaşımında mevcuttur. Havzada akarsular oldukça fazladır. Bu akarsu ağı dendritik olup Karadeniz'e dökülmektedir. Bölgede yağışlı tipik Karadeniz iklimi görülmektedir (Öztürk, 2014; Kurşunoğlu, 2019; İskender ve Karaman, 2023).

Zonguldak taşkömürü havzasında ülkemizin en büyük taşkömürü rezervleri bulunmaktadır. Havza, Ereğli, Armutçuk, Zonguldak, Amasra, Pelitovası, Azdavay ve Söğütözü 'nü içerisinde alan büyük bir bölgeyi kapsamaktadır. Bölge, Karbonifer devrinde çökelmiş, Hersiniyen ve Alpin Orojenezleri'nin etkisiyle kıvrılmış, kırılmış ve çok karmaşık bir yapı kazanmıştır. 52 kömür damarı bulunan havzada, bu damarların ancak 22 adeti üretime uygundur. Bu damarların kalınlıkları ve eğimi sırasıyla, 0.8 - 30 m ve 0-90° derece arasında değişmektedir. Havzada kömür üretiminin %70 'ine yakını 1.5 ila 4 metre arasında bir kalınlığa sahip olan damarlarda gerçekleştirilmektedir. Bu damarların yatımları (20° - 45°) arasında değişmektedir (Arıoğlu ve Yılmaz, 2002). Zonguldak Taşkömürü Havzası, ülkemizin enerji sektörü ve demir-çelik sanayisinin önemli ihtiyaçlarından birisi olan koklaşabilir taşkömürü üretiminin gerçekleştirildiği stratejik önemi olan bir maden havzasıdır (Biol, 2022).

1.6. Uzun Ayaklarda Tahkimat Sistemleri

Uzun ayaklarda uygulanan tahkimat yöntemleri geçmişten günümüze kadar değişen çevre koşulları, tahkimattan beklentiler, istenilen üretim hızı ve üretim yeri konforu ile değişerek gelişmiştir.

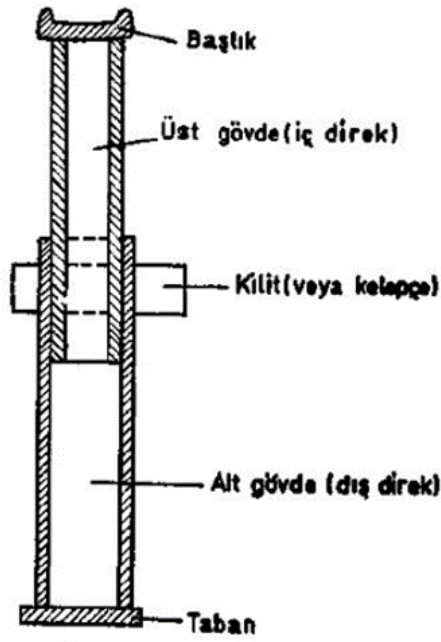
İlk zamanlarda tahkimattan beklenti teknik imkan ve mevcuttaki malzeme durumuyla birlikte oluşturulan açıklığın tavanını tutmaya yönelik gerçekleşmekteydi. Başlangıçta madenciler, doğada sık bulunan ağaç ile tahkimat yapmışlardır (Şekil 2). Devam eden süreçte gelişen teknolojinin imkanları kullanılarak farklı materyal ve yöntemlerle farklı

tahkimat teknolojileri geliştirilmiştir. Ağaç tahkimat yerini yavaş yavaş demir direk, rijit bağ, sürtünmeli direk, hidrolik direk ve son olarak yürüyen tahkimata bırakmıştır. Bu süreçte ağaç tahkimat ve yürüyen tahkimat hesaplanabilir duruma gelmiştir (Çetinkaya, 2019).



Şekil 2. Ağaç tahkimat uygulaması (Ahıska ve Esen, 1987)

Çelik malzemenin yüksek dayanıma sahip olması, defalarca kullanmaya imkan verebiliyor oluşu, kolay şekillendirilmesi ve ağır yükler altında kolay bozulmaması gibi özellikleri, madencilik sektöründe tahkimat elemanı olarak çelikten yararlanmayı sağlamıştır. Sadece Almanya’da 1900- 1955 yılları arasında demir direkler konusunda alınan patent sayısı 897’dir. Çelik malzemeden üretilen direk, sarma ve belleme olarak kullanılan tahkimat elemanları defalarca kullanılabilmektedir. Bununla birlikte aylık kayıplar %1 mertebesinde. Bu sayede ömürleri 4 yıldan uzun olabilmektedir. Çelik tahkimatlar kullanımındaki pratiklik sayesinde iş organizasyonlarında çeşitli avantajlar sağlamaktadırlar. Kolay sökölüp takılmaları hem işten hem de zamandan tasarruf sağlamaktadırlar. Günümüzde TTK bünyesinde hidrolik direk çelik sarma tahkimat kullanılan panolar mevcuttur. Bu panolarda pano yüksekliği ve ebatları hidrolik direk çelik sarma tahkimata uygun olması sebebiyle bu yöntem seçilmektedir. Hidrolik direk uygulamasıyla ayak tahkimatı hususunda yeni bir safhaya geçilmiştir. Şekil 3 ‘te hidrolik direklerin şematik gösterimi ve ayak içi uygulaması gösterilmiştir. Mekanize kazı sisteminin kısa sürede gösterdiği ilerleme sonucunda hidrolik direklerin ayak içinde ilerletilmesinin sökme-takma işlemlerinin çok fazla iş gücü ihtiyacı oluşturması ayak ilerleme hızına paralel noktada ilerletilebilecek bir tahkimat gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Bu doğrultuda bütünüyle birleştirilmiş, kendi kendine yürüyebilecek bir konstrüksiyona ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 3. Hidrolik direk şematik görünümü ve ayak içindeki uygulaması (Ahıska ve Esen, 1987; Çetinkaya, 2019)

Bu ihtiyaç sonucunda iki veya üç hidrolik direk tavan sarmasıyla bir alt kirişe bağlanarak basit bir çerçeve oluşturulmuştur. Oluşturulan iki basit çerçeve sistem arasına da bir hidrolik silindir bağlanarak ilk hidrolik hareket sağlanmıştır. Ancak uygulamadaki zorluklar sebebiyle bu iki çerçeve sistem birleştirilerek tavan ve taban plakaları genişletilmiş domuz damı tipinde bir hidrolik sistem oluşturulmuştur. Bu sistemde genişleyen plakalar sayesinde tavan basıncı daha geniş alana dağıtılmış plakaların tavan ve tabana yaptıkları spesifik basınç azaltılmıştır. Şartlar uygun oldukça emek yoğun işler terk edilerek makinalara devredilmiş, kazı makinaları, mekanizasyonundaki bu değişim tahkimatın da paralel olarak gelişmesinin zorunlu kılmıştır. Uzun ayaklarda ilerleme hızının artırılması, emniyetli ve konforlu çalışma ortamının sağlanması amacıyla 1950’li yıllarda ilk kez yürüyen tahkimat geliştirilmeye başlanmış, günümüze kadar da bu konuda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Çetinkaya, 2019).

Son 7-8 yıllık dönemde ülkemizde TTK müesseselerinde ve Soma’da kullanılmaya başlanarak kullanımı yaygınlaşan, Çin tipi yarı mekanize tahkimat adıyla anılan yarı mekanize hidrolik tahkimat sistemlerini de yürüyen tahkimat sistemleri arasında değerlendirmek mümkündür. Bu sistem temelde 4 hidrolik direk üzerinde duran tavan plakasından oluşan ve tahkimat elemanlarının (şiltlerin) birbirlerine zincir veya kiriş ile bağlı

bulundukları sistemlerdir. İlerleme kısmı hidrolik ilerleme pistonuyla yapılan ancak taban plakaları bulunmadığından hidrolik direklerin ilerletiminin manuel olarak yapıldığı bir nevi hidrolik direk çelik belleme sisteminin geliştirilmiş halidir. Şekil 4'te Yarı mekanize tahkimat sisteminin görünümü verilmiştir. 2016 yılı kasım ayından itibaren TTK da yarı mekanize sistemler uygulanmaya başlamış ve günümüzde kurumun bütün müesseselerinde yaygınlaşmıştır (Çetinkaya, 2019).



Şekil 4. Çin tipi yarı mekanize olarak anılan yarı mekanize tahkimat sistemi (Çetinkaya, 2019)

Tam mekanize sistemlerde ise yürüyen tahkimat ünitesi ile saban veya kesici-yükleyici kazı aracı ile tahkimat bir bütün haline gelmiştir. İlk kez kullanıldığı 1950'li yıllardan günümüze kadar gelişerek gelmiştir. Kullanımının ekonomik olarak uygun olduğu madencilik çalışmalarında büyük iş kolaylığı sağlamakta üretim hızını maksimize etmektedirler.

1.7. TTK Üzülmüş Müessesesinde Uygulanan Yarı Mekanize Tahkimat Sistemi

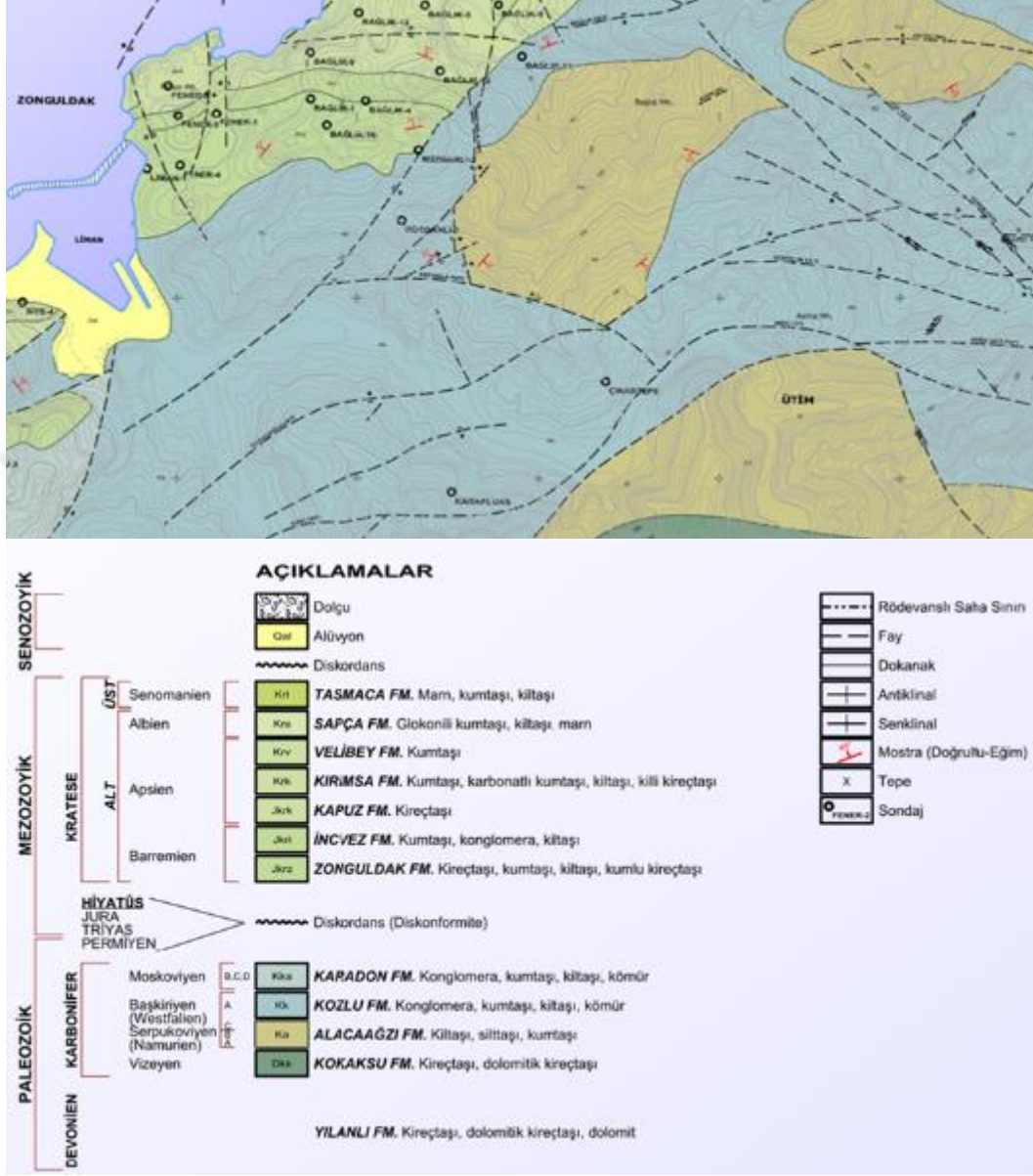
1990 ve takip eden yıllarda rehabilitasyon projeleri hayata geçirilmeye başlanmış, bu projeler kapsamında Üzülmüş Müessesesi yaklaşık 30 yıldır hidrolik direk ve eklemli çelik sarma tahkimat sistemi ile arına dik tahkimat yöntemini sürdürülebilir hale getirmiştir. Bu

tahkimat yöntemlerinden sağlanan deneyim ve birikimlerle 2015 yılı itibariyle, şiltlerin kullanıldığı, çalışma sistemi tavan plakaları ve hidrolik direklerden oluşan yarı mekanize tahkimat sistemi olarak kurum içerisinde isimlendirilen tahkimat sistemlerine geçişe kurum bünyesinde ilk adım atılmıştır (Biol, 2022). Kasım 2016 tarihinde Üzümez Müessesesi'nin 3. ocak bölgesinde ilk kez yarı mekanize tahkimat sistemi kurulmuştur. Bu uygulama yarı mekanize tahkimat sisteminin ülkemizdeki ilk uygulaması olmuştur. Uygulamanın sağladığı faydalar oldukça fazla olmuştur. Başarılı sonuçların alınmasıyla birlikte Türkiye Taşkömürü Kurumu bünyesinde faaliyetlerine devam eden farklı müesseselerde de uygulaması mümkün olan ayaklarda bu sistem kullanılmaya başlanmıştır (İskender ve Karaman, 2023).

1.7.1. Üzümez Müessesesinde Çalışılan Kömür Damarları

Zonguldak merkezine yaklaşık olarak 6 kilometre mesafede bulunan Üzümez Müessesesinde üç farklı ocakta üretim yapılmaktadır. Bu ocaklar; 1. ocak, 2. ocak ve 3. ocak olarak adlandırılmıştır. 1. ocak bölgesinde Taban Acılık olarak isimlendirilen kömür damarında, 2. ocakta 55-60° derece eğime sahip olan Nasifoğlu damarında çalışılmaktadır. Bu damardaki yüksek eğim nedeniyle ocaktaki çalışma esnek yarı mekanize sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Esnek yarı mekanize sistemde şiltlerin diyagonal olarak dizilerek oluşturulan ayağın eğiminin 37° olması sağlanmaktadır. Bu şekilde üretim gerçekleştirilmektedir. Ayrıca 2. ocak bölgesinde çalışılan bir diğer kömür damarı da Sulu damarıdır. 3. ocakta üç farklı kömür damarında (Çay, Çay pıçı ve Piriç) oluşturulan 5 ayrı ayak ile üretim gerçekleştirilmektedir. Bu 3 ocakta gerçekleştirilen üretimlerin sadece bir tanesinde klasik ahşap tahkimat kullanılmakta, kalanlarda yarı mekanize tahkimat sistemleri kullanılmaktadır. Yarı mekanize tahkimatla çalışılmayan ayakta kömür kalınlığı 1.2 ila 1.4 metre arasındadır. Bu kalınlıkta yarı mekanize tahkimat sistemi çalışmamaktadır. Kömür kazısı emek ağırlıklı olarak gerçekleştirilmektedir. Delme-patlatma yöntemi ile gevşetilen kömür zincirli oluklara aktarılmakta ve nakliye vagonlarına taşınması sağlanmaktadır. Nakliye vagonları ile kuyu dibine getirilen tüvenan kömür, yine vagonlarla birlikte kuyu kafesi ile yüzeye çıkarılmaktadır (Biol, 2022). Zonguldak taşkömürü havzasında çok sayıda faylanma mevcuttur. Şekil 5'te de Zonguldak jeoloji haritasında faylanmalar kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Bu jeolojik koşulların tam mekanize yöntemlerin uygulanmasına müsaade etmediği bilinmektedir. Benzer jeolojik koşullara sahip ocaklarda kullanılabilecek bir yöntem olarak değerlendirilebilir. İş güvenliği, iş kolaylığı ve ekonomik anlamda

sağlayacağı faydalar klasik ahşap tahkimata ve hidrolik direk çelik sarma yöntemlerine göre daha fazladır (İskender ve Karaman, 2023).



Şekil 5. Zonguldak jeoloji haritası kesiti (TTK, 2022)

1.7.2. Kirişli Yarı Mekanize Tahkimat Sistemi

Kirişli yarı mekanize tahkimat sisteminde 290x96 mm boyutlarındaki tek tip tavan plakası kullanılmaktadır. Tavan plakaları birbirlerine kirişlerle bağlanarak sistemin bir bütün halinde hareketi amaçlanmaktadır. Bu bağlantı maşonlar ve bağlantı çubuklarıyla sağlanmaktadır. Şekil 6' da sistemin ayak içindeki durumu gösterilmektedir.



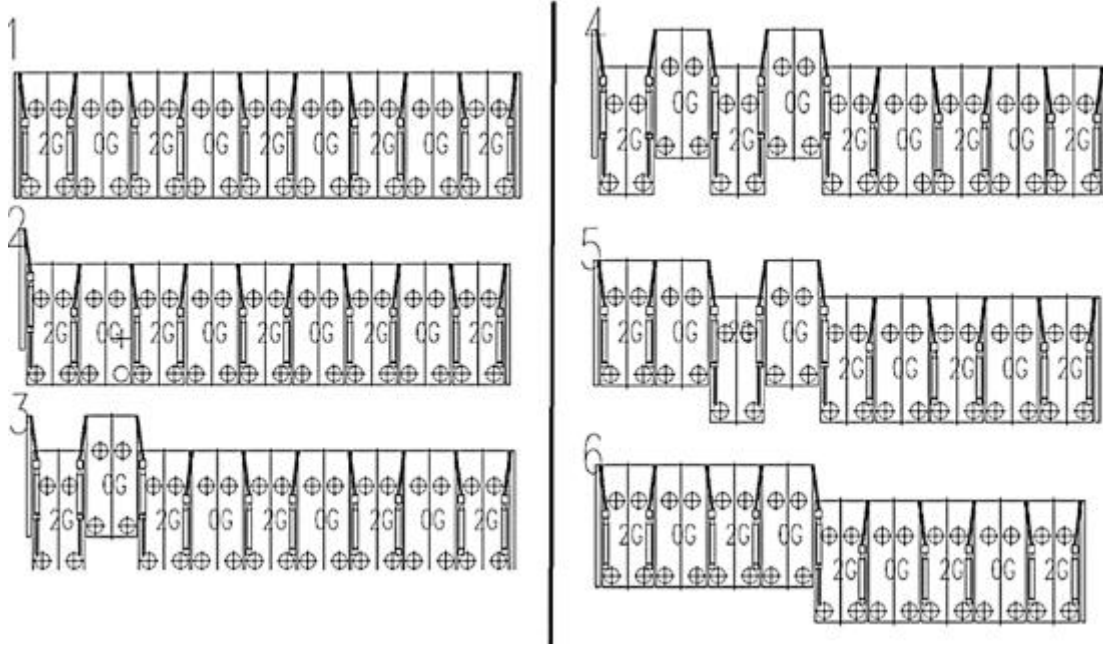
Şekil 6. Kirişli Yarı mekanize tahkimat sistemi ayak içi görünümü (TTK, 2022)

Ayak boyunca aynı özelliklere sahip şiltler dizilmektedir. Şiltlerin her biri 4 adet hidrolik direk ile üzerine gelen yükü taşımaktadır. Tahkimat bütünlüğü iki sıra kiriş ile sağlanmaktadır. Hidrolik direkler iki adeti arın tarafından iki adeti ise ayak arkası tarafında olacak şekilde tavan plakalarına bağlantılıdır. İhtiyaç duyulması durumunda arın tarafına bir tane daha hidrolik direk eklenebilmektedir. Hidrolik direklere yük taşıma kabiliyeti, hidrolik sıvı döngüsünü sağlayan yüksek basınç istasyonu pompalarıyla kazandırılmaktadır. Sistem su bazlı sentetik hidrolik sıvı (HFA) tipi yanmaz hidrolik sıvı eklenmiş su ile ortalama 250 bar basınç değerlerinde çalışmaktadır. Şiltlerin hareketi de özellikleri belirtilen hidrolik sıvısı ile sağlanmaktadır (İskender ve Karaman, 2023).

1.7.3. Üstten Yürütmeli Zincirli Yarı Mekanize Tahkimat Sistemi

Zincirli Sistemde iki farklı tavan plakası (şilt) kullanılmaktadır. Bu tavan plakalarına 0G ve 2G ismi verilmiştir. Farklı özelliklerdeki bu iki tavan plakasının boyutları ve ayaktaki görevleri de farklıdır. 2G tipi şiltler kazılan kömür arınına dik yöndeki hareketi sağlamaktadır. Kazı yüzeyine paralel yöndeki hareket ise 0G tipi şiltlerle gerçekleştirilmektedir. İki farklı Tavan plakasının ayaktaki dizilimi ve arına dik yöndeki ilerletim adımları Şekil 7'de gösterilmiştir. 2G tipi şiltlerde bulunan pistonlar ilerletim

işleminde önce tavan yükünü bırakan 0G tipi şiltleri kömür arınına doğru itmektir, ardından 0G tipi şiltler tavan yükünü almaktadır. İkinci adımda ise 2G tipi şiltler tavan yükünü bırakmakta ve aynı mekanizma ile tavan yükünü alan 0G tipi şiltlerden destek alarak kendini arına doğru çekmektedir. Zincirli yarı mekanize tahkimatta kiriş bulunmamaktadır. Şiltler birbirlerine zincirlerle bağlanmaktadır. Bu sayede daha esnek hareket kabiliyetine sahiptirler. Zincirle bağlanan şiltler, kömür damarlarında karşılaşılabilecek biçimsizliklere göre konumlandırılabilir. (TTK, 2022; İskender ve Karaman, 2023).

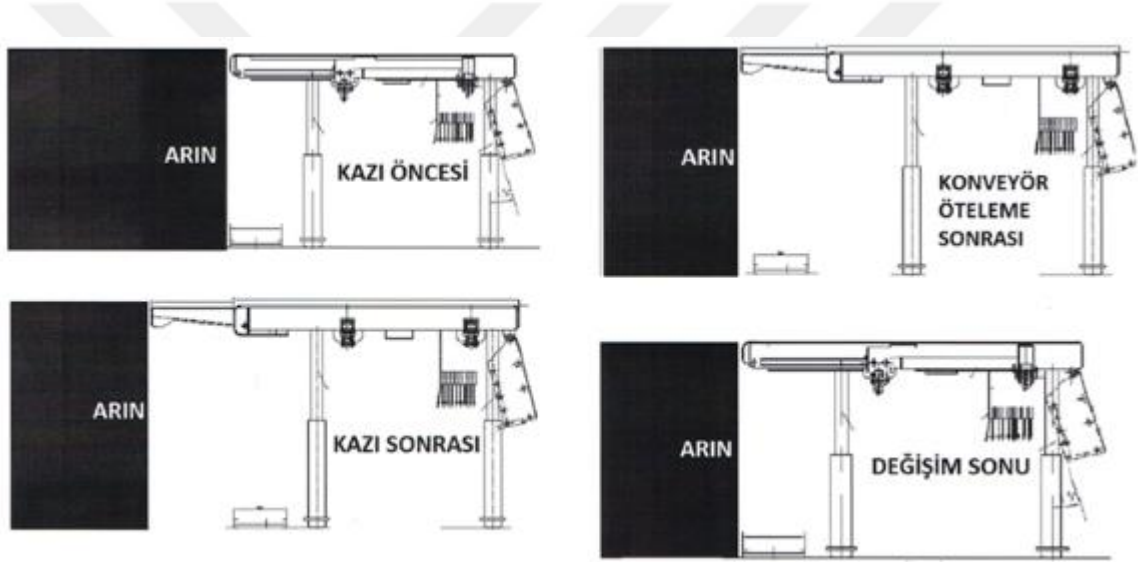


Şekil 7. Zincirli yarı mekanize sistemin ayak içi şilt dizilimi ve ilerletimi (TTK, 2022)

1.7.4. Yarı Mekanize Tahkimat ile Üretim Aşamaları

Üzülmüş Müessesesinde kazı, 1.2 metrelik delikler açılarak ve patlayıcı olarak sadece anti grizu dinamiti (Grizitun) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Delik boyunun seçim parametrelerinde, üretim hızı ve ayak içindeki mekanik tahkimatın zarar görmemesi etkili olmaktadır. Yine tahkimat elemanlarının zarar görmemesi adına şiltlerin arına dönük yüzleri bant konveyör malzemesinden yapılmış bir perde ile örtülmektedir. Yarı mekanize tahkimat sistemlerinde üretim ve nakliyat sürekliliği üç periyottan oluşmaktadır. Bu döngü 3 vardiyaya yayılmış durumdadır. Gündüz vardiyasında 8-16, şiltlerin ilerletimi, üretime hazırlık çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Akşam ve gece vardiyalarında (16-24, 24-8) ise Şekil 8’de görülen üretim adımları izlenerek kömür kütlesi ayak içinden tahliye edilir, kömür üretimi sağlanır ve tahkimat elemanları kapeleri açık halde 0.8 metrelik dilim üretilmiş

olarak gündüz vardiyasına devredilir. Gündüz vardiyasında arına kadar kapeleri açık halde devralınan tahkimat elemanlarının tekrar arına ötelenmesi sağlanır ayrıca zincirli oluklar yine bu vardiyada ötelenip yeniden konumlandırılır. Bu periyotlar bakım çalışmaları veya arıza gibi aksaklıklar yaşanmadığı sürece sürdürülmektedir. Nihayetinde sistemde günde iki vardiyada üretim ve diğer vardiyada hazırlık süreçleri çalışılır. Kirişli ve zincirli yarı mekanize sistemlerde bu adımların ortak olmasına karşı biçimlerdeki farklılıklar sebebiyle ayak içlerinin görünüşü farklılık göstermektedir. Kirişli sistemde, zincirli oluk arın tarafındaki hidrolik direklerin hemen arkasında konumlandırılmaktadır. Kirişli sistemde ön ve arka hidrolik direkler arası mesafe zincirli sisteme göre fazladır. Bu durum çalışanların ayak içindeki hareket alanını arttırmaktadır (TTK, 2022; İskender ve Karaman, 2023).



Şekil 8. TTK Üzülmüş Müessesesi zincirli yarı mekanize tahkimat ile üretim aşamaları (TTK, 2022)

1.7.5. Yarı Mekanize Tahkimatın Avantaj ve Dezavantajları

Yarı mekanize sistemler, öncesinde uygulanan klasik ahşap tahkimat ve hidrolik direk çelik sarma sistemlere göre fazlaca avantaj sağlamakta bununla birlikte bazı dezavantajlar da getirmektedir.

Tavan plakaları birbirlerine bitişik konumlandırılmaktadır. Plakalar tavanın tamamını bir çatı gibi örtmektedir. Bu sayede tavandan düşecek kaya parçaları ile yaralanma ihtimalini olabildiğince azaltmaktadır. Tavan plakaları nakliyesi sırasında herhangi bir olumsuzluk göstermemektedir. Ayak içerisine kadar küçük kesitli galeriler dahi geçirilebilmektedir.

Montajları ayak içerisinde yapılmaktadır. Çalışma ortamlarında önceki yöntemlerden daha fazla konfor sağlamaktadır. İSG yönünden fazlaca emniyetlidir. Ayak içerisinde çalışması gereken işçi sayısı yarı mekanize sistemlerde daha azdır. Özellikle kirişli sistemde tahkimat elemanlarının kiriş ile bütünlüğü sağlandığından daha güvenli bir çalışma ortamı oluştururlar. Gerek ihtiyaç duyulan çalışan sayısının azlığı gerekse daha emniyetli çalışma ortamı sağlaması sayesinde klasik ahşap veya hidrolik direk çelik sarma sistemlerine oranla yarı mekanize sistemde işçi kazalanma oranı daha düşüktür. Bu durumlar avantaj olarak değerlendirilir.

Yarı mekanize sistemlerde bakım ve tamir ihtiyacı vardır. Bakımlar ve arıza durumundaki müdahale için deneyimli mekanik personel gereksinimi oluşturmaktadır. Üretim faaliyetleri sırasında ayak içinde yine sistemle çalışabilecek eğitimli personeller gerekmektedir. Klasik ahşap yöntem ile hidrolik direk- çelik sarma yöntemlere göre ilk yatırım maliyetleri daha yüksektir. Kurulum ve söküm işlerinin uzun olması, iş kaybına neden olmaktadır. Uygun damar kalınlıkları ve pano boyutu, kısıtlayıcı özelliklerden biridir. Bir şilte meydana gelebilecek arızanın bütün ayağı etkileyeceğinden yine iş kaybı olarak geri dönüş yapacaktır. Bu durumlar da sistemin dezavantajlarına örnek olarak verilebilir (Biol, 2022; İskender ve Karaman, 2023).

1.8. Kazılabilirlik Tayininde Kullanılan Yöntemler

Kayaçların kazılabilirliği spesifik enerji ve aşındırıcılık değerlerinin yardımıyla ile tayin edilmektedir. Birim hacimdeki kayacın kazılmasında gerekli olan enerji, spesifik enerji olarak tarif edilir. Birim hacimdeki spesifik enerji kayacın aşındırıcılığı ile doğru orantılı olarak artabilmekte ve azalabilmektedir. Yani aşındırıcılığı yüksek bir kayacı kazmak için daha çok enerji gerekmektedir, düşük aşındırıcılık özelliğine sahip kayaçları kazmak için de düşük enerji gerekmektedir. Laboratuvar çalışmalarıyla spesifik enerjinin belirlenmesinde üç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler, tam boyutlu kazı deneyi, küçük boyutlu kazı deneyi ve ampirik yöntemler olarak sıralanabilir (McFeat-Smith ve Fowel, 1979; Yaşar, 2013).

Ampirik yöntemlerde araştırmacılar kayaçların jeomekanik özelliklerinden faydalanılarak geliştirdikleri tablolar veya abaklar yardımıyla kayaçların jeomekanik özelliklerini puanlayarak kazılabilirlik sınıflamalarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu tez kapsamında da Zonguldak havzasındaki kömür ve beraberinde bulunan yan kayaçların

jeomekanik özellikleri incelendiğinden ampirik yaklaşımlarla kazılabilirlik sınıfının tahmin edilmesi için üçüncü bölümde irdelemeler yapılmıştır.

Kayaçların künyesini oluşturabilecek yani kayacı net bir biçimde tanımlayabilecek tek bir parametre bulunmamaktadır. Kayaçların farklı özellikleri, farklı dayanım değerlerinin her biri kendi içerisinde önem taşımakta olup tek bir parametre ile kayacın değerlendirilmesinin yapılması doğru sonuç vermeyecektir. Bu nedenle araştırmacılar kayacı tanımlayabilecek en önemli parametreleri birlikte kullanarak kayacın daha iyi tanımlanmasını sağlamaya çalışmışlardır (İphar, 2004).

Ampirik yaklaşımlarla oluşturulan birçok kazılabilirlik tayini önerisi araştırmacılar tarafından ileri sürülmüştür. Weaver (1975) Bieniawski tarafından geliştirilen kaya kütlesi derecelendirme (RMR) sistemini uyarlayarak sökülebilirlik belirlenmesi konusunda bir çalışma hazırlamıştır. Kirsten (1982), Minty ve Kearns (1983), Müftüoğlu ve Scoble (1984), Smith (1986), Singh vd. (1986) ve Karpuz (1990), Başarır ve Karpuz (2004) çalışmalarında kayaçların çeşitli jeomekanik ve yapısal özelliklerini bir arada kullanarak kazılabilirlik tayininde kullanılmasını sağlamışlardır (İphar, 2004).

Bu çalışmalarda kullanılan kayaç özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Bu tez çalışmaları sırasında yapılan çalışmalara uygunluğu sebebiyle Müftüoğlu ve Scoble (1984) esas alınarak bulgular ve irdeme bölümünde değerlendirmeler yapılmıştır. İkinci bir yöntem olarak ta Başarır ve Karpuz (2004) kullanılmıştır.

Tablo 2. Kazılabilirliğin belirlenmesi amacı ile hazırlanmış sınıflama sistemleri ve kullanılan parametreler (İphar, 2004)

Parametreler	Sınıflandırma Sistemleri						
	Weaver (1975)	Kirsten (1982)	Minty- Kearns (1983)	Müftüoğlu -Scoble (1984)	Smith (1986)	Singh vd. (1986)	Başarır- Karpuz (2004)
Tek eksenli basınç dayanımı	X	X		X	X		X
Nokta yük indeksi			X	X			X
Çekme dayanımı						X	
Eklem takım sayısı		X					
RQD		X					
Hacimsel eklem içeriği		X					
Eklem pürüzlülüğü		X	X				
Eklem alterasyonu		X					
Eklem yönelimi	X	X	X		X		
Tabakalanma aralığı				X			
Eklem aralığı	X	X	X	X	X	X	X
Eklem sürekliliği	X		X		X		
Eklem dolgusu	X				X		
Ayrışma	X		X	X	X	X	
Sismik hız	X		X			X	X
Aşındırıcılık						X	
Yeraltı suyu			X				
Schmidt sertliği							X

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2022 yılı Mayıs ayında 1 hafta ve 2023 yılı sonunda 3 hafta olmak üzere toplam 4 hafta yeraltında çalışmalar yapılmıştır. Şekil 9 'da kuyu başında fotoğraf görülmektedir. Bu çalışmada yapılan deneyler, tamamının TTK müesseselerinde yeraltı üretim bölgeleri ve hazırlık galerilerinden alınan blok numunelerden elde edilen örneklerle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Üzülmaz ve Kozlu Müesseselerinde örnekler alınmıştır.



Şekil 9. Vardiya sonu kuyu başından bir görüntü (Üzülmaz Müessesesi)

2.1. Giriş

Bu çalışmaların kapsamı; Üzülmaz Müessesesi yarı mekanize tahkimat sistemlerinin incelenmesi, Üzülmaz ve Kozlu Müesseseleri örnek alma işlemleri, yeraltında ayak içlerinde, hazırlık galerilerinde ve nefesliklerde bulunan kömür ve yan kayaçlar hakkında süreksizlik değerlendirmeleri, kayaçlar hakkında fikir vermesi açısından yeraltında klasik L tipi Schmidt çekici ile ölçümler yapılmasını içermektedir.

Yeraltında yapılan çalışmalar esnasında fotoğraf makinesi veya akıllı cep telefonu ile kaliteli fotoğraf çekimi mümkün olmamıştır. Bunun sebebi iş sağlığı ve güvenliği kurallarınca yeraltına elektronik cihaz veya açık alev kaynaklarının indirilmemesidir. Yeraltında kullanılan enerji kaynaklı cihazların alev sızdırmaz özellikte olması kömür madenciliğinde şarttır. Ancak dinamit ambarlarında kullanılmak üzere alınan barkot okuyucular alev sızdırmaz özelliğe sahiptir. Bu barkot okuyuculardan Kozlu ve Karadon müesseseleri envanterinde bulunmaktadır. Barkot okuyucularda kamera özelliği bulunmakta ama düşük çözünürlükte kalitesiz fotoğraf çekmektedirler. Yeraltı şartları da göz önünde bulundurulduğunda flaş ışığı olmayan bir kamera ile iyi denilebilecek bir fotoğraf çekimi yapılamamıştır.

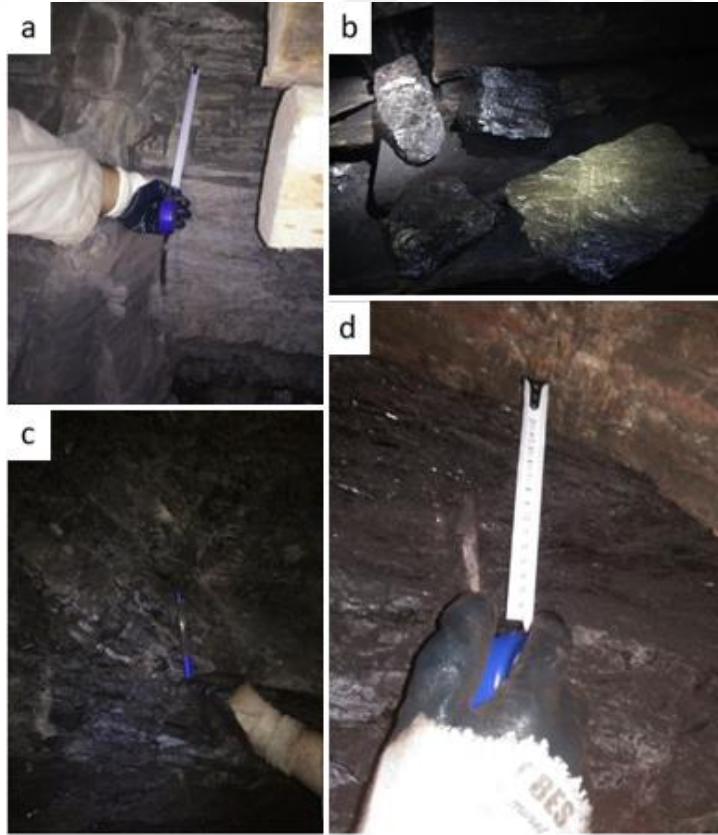
Schmidt çekici uygulamasının 20 ila 150 MPa arasındaki tek eksenli basınç dayanımına (UCS) sahip kayaçlarda en iyi sonucu verdiği, bu değerlerden düşük veya yüksek tek eksenli basınç dayanımı (UCS) olan kayaçlarda hatalı sonuç verebileceği bilinmektedir (ISRM 1978). Bu çalışmada kullanılan kömür ortalama olarak 20 MPa altında bir tek eksenli basınç dayanımına (UCS) sahiptir. Schmidt çekici ile yapılan ölçümlerde kömürün örselenme durumu göze alınarak sağlıklı sonuç alınamadığından deney devam ettirilmemiştir (Şekil 10).

Araştırmacılar tek eksenli basınç dayanımının (UCS) tahmininde Schmidt çekici sertliğini kullanarak çeşitli denklemler oluşturmuş ve bu denklemler farklı sertliklerdeki kayaç gruplarının tek eksenli basma dayanımı tahmininde kullanılmaktadır. Bu durumda yine bu denklemlerin kullanılmasıyla da kayaçların tek eksenli basınç dayanımından (UCS) yola çıkılarak Schmidt çekici sertliğinin tahmin edilmesi mümkündür. O' Rourke (1989), Gökçeoğlu (1996), Yılmaz ve Sendir (2002), Yaşar ve Erdoğan (2004), Aydın ve Basu, (2005), Kılıç ve Teymen (2008), Yağız (2009), (Karaman ve Kesimal, 2015) bu araştırmacılar arasında bazılarıdır.

Schmidt çekici sertliği bu çalışmada (Karaman ve Kesimal, 2015) geliştirdiği, UPV ile UCS oranından faydalanarak belirli bir aralıkta tahmin edilmiştir. Yeraltında yapılan çalışmalar kapsamında kömür ve yan kayaçlardan blok örnekleri alınmıştır. Ayrıca yan kayaçların ve kömürün yapısı ile içerdiği süreksizlikler gözlenmiştir (Şekil 11).



Şekil 10. Yeraltında kayaç bloğuna Schmidt çekici uygulaması



Şekil 11. Yan kayaçtaki tabakalı yapı (a), kömür ve yan kayaç örnekleri (b), hazırlık aynasındaki yan kayacın süreksizlikleri (c), kömürde görülen yapraksı tabakalanma (d)

2.1.1. Yeraltında Yapılan Gözlemler

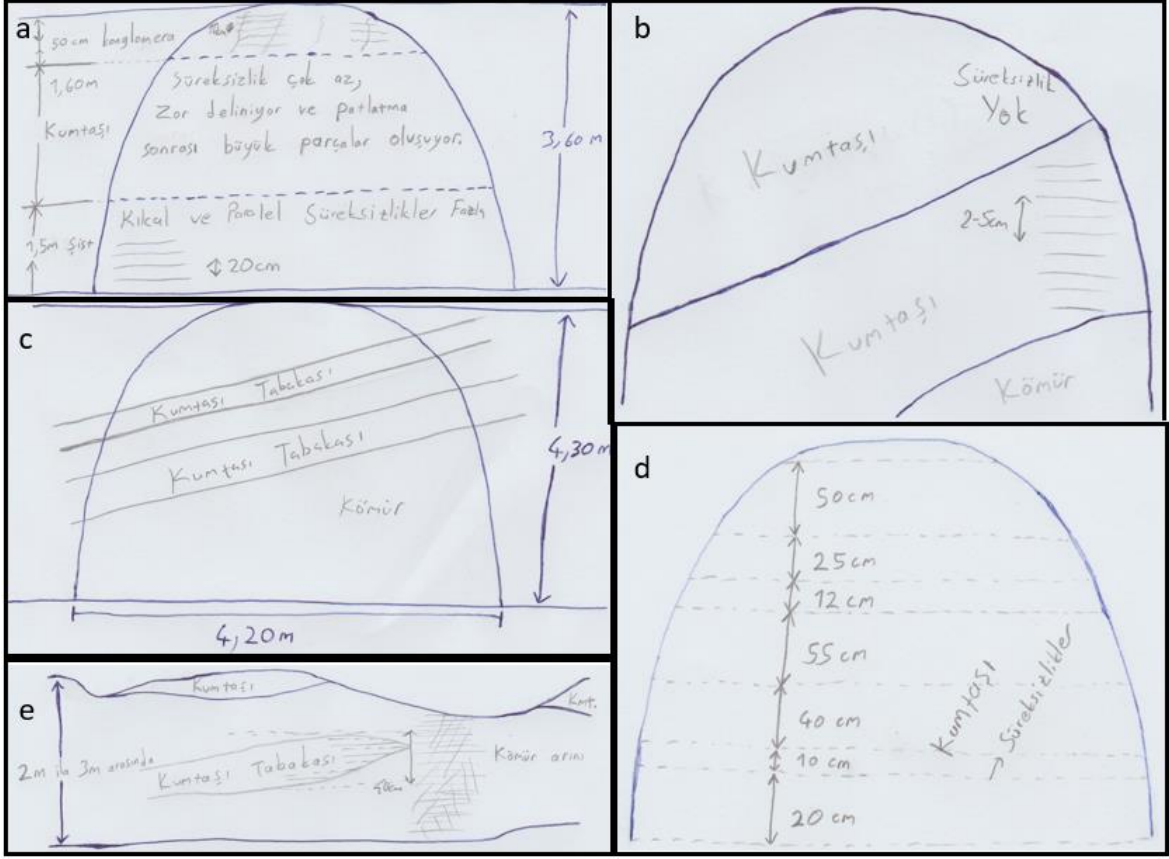
TTK bünyesinde faaliyetlerine devam eden müesseselerde yeraltında üretim yapılan ayakta arın yüzeyinde, hazırlık galerilerinde ayna yüzeyinde, yeni oluşturulan nefesliklerde ayna yüzeyinde kömür ve yan kayacın tabakalanmasına, süreksizliklerine yönelik şerit metre kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu gözlemler sonucunda yan kayaların ve kömürlerin yapısına yönelik bilgiler edinilmiştir. Şekil 12’ de bu bölgelere yönelik çizimler ve notlar paylaşılmıştır.

Kozlu müessesesi -447 kotunda açılmasına devam eden nefeslik galerisi aynasında 3 farklı yan kayaç gözlenmiştir. Bu kayaçlardan kumtaşının tabaka düzlemi dışında süreksizlik içermediği, şist ve konglomeranın ise bolca süreksizlik içerdiği gözlenmiştir. Konglomerada süreksizlikler ortalama 10 cm aralıklı ve zemine paraleldir. Şistte ise süreksizlikler ortalama 20 cm aralıktır (Şekil 12 a) . Kozlu -500 hazırlık taban yolu galerisi aynasında kömürün içerisinde 30 ila 40 cm kalınlıkta kumtaşı tabakaları görülmüştür (Şekil 12 c).

Karadon müessesesi -540 kotu hazırlık galerisi aynasında iki farklı kumtaşı tabakası olduğu görülmüştür. Bunlardan birinde herhangi bir süreksizlik görülmezken diğer katmanda 2 ila 5 cm aralığında süreksizlik takımı ve 7-8 cm aralıklı bir diğer süreksizlik takımı görülmüştür. Bu iki kumtaşının delme-patlatma işlemleri sırasında da farklı davranışlar gösterdiği birinin iri parçalara ayrılırken diğerinin iyi parçalanma gösterdiği bilinmektedir (Şekil 12 b).

Üzülmaz -260 kotunda sürülen hazırlık galerisi aynasında zemine paralel tabaka düzlemleri görülmüştür. Süreksizlik ara uzaklıkları 10 ila 50 cm arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 12 d).

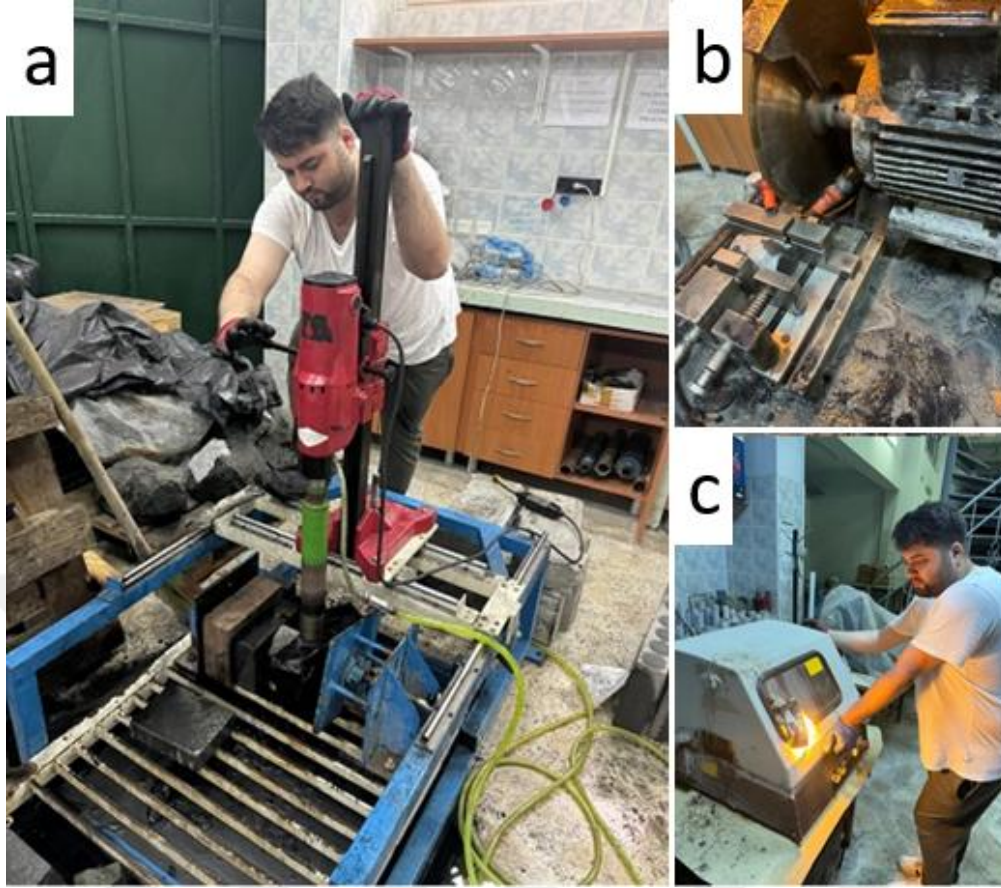
Kozlu müessesesi -425 kotu 1. Kartiyede ayak içinde kömürün 0.1 – 0.5 cm arası yapraksı tabakalı yapısı gözlemlenmiştir Arın tabanın paralel ve farklı doğrultularda düzensiz süreksizlikler görülmektedir. Yine arının bazı bölümlerinde kumtaşı tabakaları görülmekte bu tabakalar yaklaşık olarak 40 cm kalınlıkta görülmektedir (Şekil 12 e).



Şekil 12. Kozlu -447 kotu nefeslik aynası şematik çizimi (a), Karadon -540 kotu hazırlık galerisi aynası şematik çizimi (b), Kozlu -500 hazırlık tabanyolu aynası şematik çizimi (c), Üzülmaz -260 kotu hazırlık galerisi aynası şematik çizimi (d), Kozlu -425 kotu 1. Kartiye ayak içi arının bir bölümünün şematik çizimi (e)

2.1.2. Deneye Hazırlık Çalışmaları

Hazırlık çalışmaları karot alma ve düzeltme işlemlerini kapsamaktadır (Şekil 13). Bu işlemlerde dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Bunlar; karot alınırken örneğin düzgün sıkıştırılması karotiyerin kesme işlemi yaparken, örneğin örselenmesini engellemektedir. Yükleme hızının sabit tutulması gerekmektedir bu sayede cidarda oluşabilecek dalgalanmalar engellenmektedir. Su basıncının ve karot makinesi devrinin örneğe göre ayarlanması karotun kırılmadan alınabilmesi ihtimalini büyük ölçüde arttırmaktadır. Karot düzeltme esnasında testerenin, numuneye uygun özellikte olanının seçilmesi gerekmektedir. Bu işlemler sırasında koruyucu ekipmanların kullanılması iş kazalarını önlemek açısından önemlidir. Bu hususlar başlıca dikkat edilmesi gereken hususlardır.



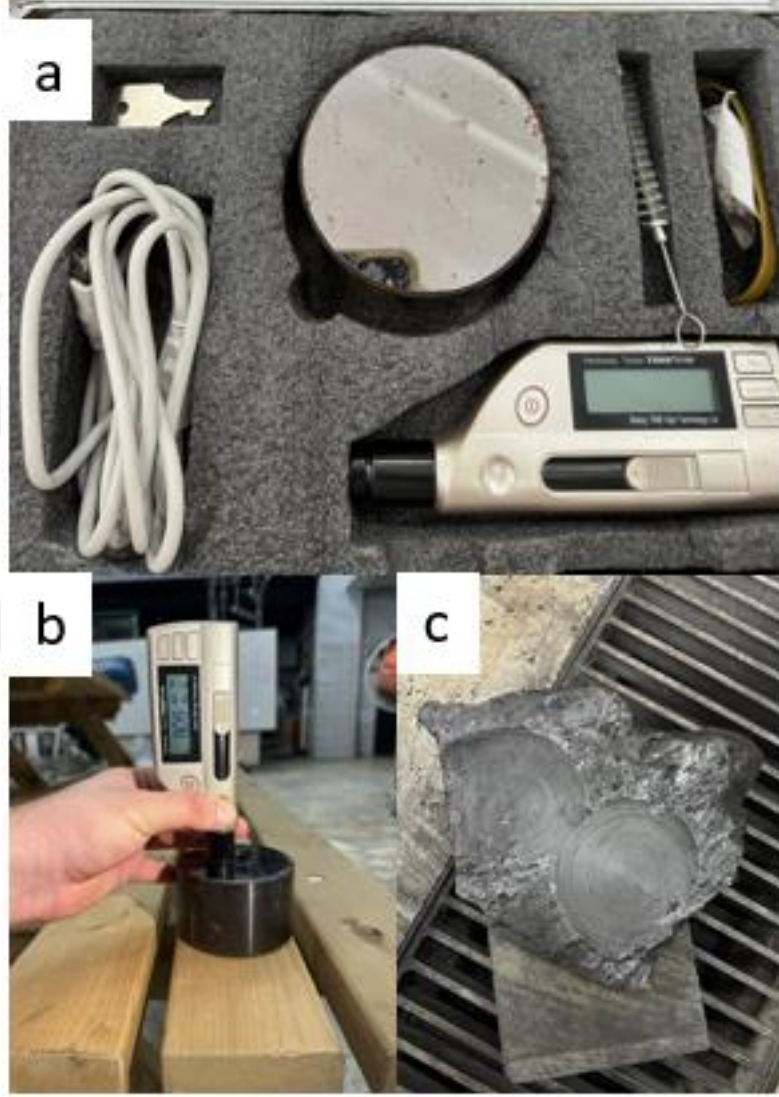
Şekil 13. Karot alma işlemi (a), karot kesme makinesi içi görünümü (b), karot kesme işlemi (c)

2.2. Leeb Sertlik Testi

Leeb sertlik testi numuneyi örselemeden yapılabilen kayacın sertliği hakkında bilgi veren bir deney türüdür. Test uygulaması için numunenin büyüklüğü, test cihazının hangi açı ile tutulduğu sonucu etkilememektedir. Büyük bir kaya bloğunda uygulanabilirken bir karot üzerinde de uygulanabilmektedir. Testin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken husus, cihazın ölçüm esnasında stabilitesinin korunması ve boşluğa denk gelecek şekilde ölçüm yapılmamasıdır. Boşluğa denk gelen ölçümler veya cihazın kayaca iyi oturtulmadığı pozisyonda yapılan ölçümler ya düşük değer gösterecektir ya da değer göstermeyecektir. Deneyler sırasında mümkün olduğunca fazla ölçüm yapılır ve bu ölçümlerin ortalaması alınarak leeb sertliği belirlenir. Şekil 14 'te Leeb cihazı ölçüm sırasında kullanımı ve ölçüm yapılan kömür yüzeylerinden örnekler verilmiştir.

Madencilikte mesleki uygulamalarda ve akademik çalışmalarda kaya malzemelerinin karakterizasyonunda, L tipi Schmidt çekici (HSL), onlarca yıldır pratik ve ekonomik

kullanımı nedeniyle yaygın olarak tercih edilen yöntemlerden biri olmuştur. Bununla birlikte, daha yeni olan Leeb sertliği (HL), hassasiyeti ve pratikliği ile öne çıkmaktadır. Kömür ve yan kayacı gibi ayrıca zayıf kayalarda üstün özelliklere sahiptir (Çelik ve Çobanoğlu, 2019; Ekincioglu vd., 2022).



Şekil 14. Leeb sertlik testi cihazı seti (a), Leeb cihazı ile kalibrasyon örsüne örnek ölçüm (b), Leeb testi gerçekleştirilen bir pürüzsüzleştirilmiş kömür yüzeyi (c)

2.3. Ultrasonik Dalga Hızı Testi

Kaya ve beton gibi malzemelerin içsel kusurlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir testtir. Kayaçlardan alınan karotların iki ucuna propların temas ettirilmesiyle test yapılmaktadır. Proplara jel sürülerek temas sırasında bütünlük sağlanması kolaylaştırılır.

Karot uzunluğunun hassas bir şekilde ölçülmesi elzemdir. Çalışmada bu deneyle eksenel yayılımında olan P dalga hızının ölçülmesi sağlanmıştır. 16 kömür karotu ve 13 yan kayaç karotunda 1.5, 2, 2.5 L/D oranlarında karotlara tek eksenli basınç dayanımı (UCS) deneyi öncesi sismik P dalga hızı testi (UPV) yapılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Ultrasonik dalga hızı testi yapılışı

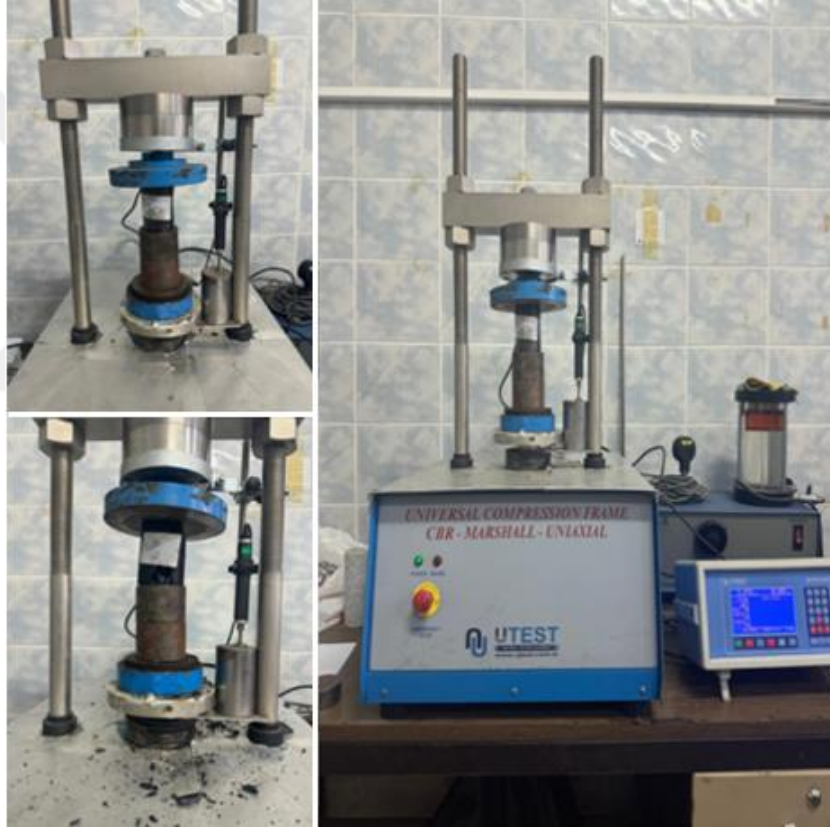
2.4. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Testi

Bu deneyle kayaçların üzerine uygulanan basınç altında, kırılmadan önce ne kadar yüke dayandığı öğrenilmeye çalışılmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı testi, yükün kayaca tek yönden uygulandığını ifade etmektedir. Bu çalışmada 0.5 kN/sn yükleme yapılan numunenin yenildiği esnadaki yüke göre numunenin tek eksenli basınç dayanımı belirlenmiştir (Şekil 16).

Bir kumpas veya cetvel yardımıyla örneklerin L ve D sırasıyla Boy ve Çap değerleri ölçülerek not edilir. Karot, basınç testi cihazının metal platenleri arasına yerleştirilir. Karotun alt ve üst kısımlarına karotla aynı çapta çelik başlıklar koyulur. Bunun amacı yükün

eşit dağılımının sağlanmasıdır. Hidrolik presin çalışma biçimi, karotun üzerine konduğu alt tablanın yukarı doğru hareket ederek örneği sıkıştırması şeklindedir. Cihaza bağlı bilgisayar bulunmaktadır. Program yardımıyla karot örneğine yük uygulanır. Yük sabit olacak şekilde saniyede 0.5 kN ya da 1 kN olacak şekilde farklı yöntemlerle uygulanabilir. Örneğin kırıldığı andaki değer (F_c) yenilme yükü olarak okunarak kayıt altına alınır (Beşer, 2023).

Laboratuvara getirilen kaya bloklarından alınan NX çaplı karot örnekleri üzerinde ISRM standartları (ISRM, 2007) dikkate alınarak tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Her kömür ve kayaç için 5'er adet boy çap oranı 2.5 olan karot örnekler deneye tabi tutulmuş ve ortalaması dayanım değeri olarak kaydedilmiştir.



Şekil 16. Tek eksenli basınç dayanımı testi yapılışı

2.5. Endirekt Çekme Dayanımı Testi

Deney silindirik şeklindeki numunelere basınç uygulanarak numunenin yatay yönde oluşan çekme kuvveti neticesinde kırılmasına dayanmaktadır. Brazilian deneyi olarak bilinmektedir. Boy çap oranı yaklaşık 1/2 olan numunelere uygulanmaktadır (Şekil 17).

Kayaçların mekanik özelliklerinden birisi de çekme dayanımıdır. Kayaçlar çekme ve basma asal gerilmeleri içerisinde iki eksenli alanda, tek eksenli basma kuvveti ve çekme sonucu kırılır. Çekme dayanım değeri örselenmemiş sağlam durumdaki kayanın tanımlanması ve sınıflandırılması için kullanılır. Çekme dayanımı, tasarım projelerinde girdi olarak ta kullanılmaktadır (Kaya, 2017).

(ISRM, 1981) standardında gerçekleştirilen bu deney ile, dolaylı olarak kayaçların çekme dayanımları belirlenmektedir. Deneyde, silindir şeklinde hazırlanan kalınlık ve çap oranı 0.5 civarlarında olan numunelere çap boyunca sıkıştırma yapılarak, silindirik örneğin çapı yönünde oluşan çekme kuvveti sonucunda kırılması amaçlanır (Kaya, 2017). Çekme dayanımı aşağıda verilen eşitlikle bulunmaktadır.

$$\sigma_t = 2P/\pi DL \quad (1)$$

Eşitlikte: L (cm) örnek boyudur, P (kg) örneği kıran kuvvet, σ_t (MPa) Çekme dayanımı ve D (cm) örnek çapıdır.



Şekil 17. Endirekt çekme dayanımı deneyi

2.6. Nokta Yük Dayanımı İndeksi

Bu deney silindirik, kübik veya biçimsiz örneklerle gerçekleştirilmektedir. Bu deney genellikle tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı parametrelerin dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır (Şekil 18).

Pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Uçları sivri olmayan hafif körelmiş iki konik uç arasına kayaçların yerleştirilerek kırılması şeklinde uygulanmaktadır (Topal, 2000). Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) tahmininde kaya mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Akram ve Bakar, 2007; Karaman, 2011). Çalışılan bölgeden basınç dayanımı deneyi (UCS) için örnek alımı bazı durumlarda zor (kayacın çatlak ve süreksizliklerinin fazla olması) olduğundan UCS değerinin tahmin edilmesi amacıyla nokta yük dayanımı deneyi yapılmaktadır. Farklı araştırmacıların bununla ilgili çalışmaları literatürde mevcuttur (Bieniawski, 1975; Broch ve Franklin, 1972; Akram ve Bakar, 2007; Öztürk vd, 2004; Karaman, 2011; Karaman vd, 2015; Kaya ve Karaman, 2016).

Bu çalışmada ISRM (1985) nokta yükleme deneyi için esas alınmıştır. Deney örnekleri yeraltı ocaklarından alınan kömür ve yan kayaç bloklarından laboratuarda alınan karot örnekleri üzerinden elde edilen silindirik numunelere eksenel gerçekleştirilmiştir. Örnek boyutları eksenel deney için L/D (boy/çap) oranı 0.3–1.0 arasında olan karot örnekleri kullanılmaktadır. Örnekler kırılma süresi 10–60 saniye arasında olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Nokta yük dayanım indeksi (PLI) aşağıdaki eşitlikle belirlenmektedir.

$$I_s = P/(D_e^2) \quad (2)$$

Eşitlikte;

P: Örneği kıran kuvvet (kN),

De: Eşdeğer karot çapı (cm),

Is: Düzeltilmemiş nokta yük dayanım indeksi (MPa)'dır.

Karot örneklerde çapsal yükleme için $De^2 = D^2$ olarak alınmaktadır.

Yukarıda ifade edilen düzeltilmemiş nokta yük dayanımı değeri referans çapa (D=50 mm) göre düzeltmek için ISRM (1985) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$I_{s(50)} = F \times IS \quad (3)$$

$$F = (De / A)^{0.45} \quad (4)$$

Eşitlikte;

$I_{s(50)}$: 50 mm çaplı karota göre düzeltilmiş nokta yük dayanımı (MPa),

F: Boyut düzeltme faktörüdür.



Şekil 18. Nokta yükü dayanımı indeksi deneyi yapılışı

3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde, elde edilen veriler paylaşılmıştır. Bu veriler kullanılarak kömür ve yan kayaçlar için irdellemeler yapılmıştır.

3.1. Laboratuvar Deney Sonuçları

3.1.1. Yoğunluk ve Porozite

Kozlu ve üzülmaz Müessesesi kömürlerinin yoğunluk değerleri birbirlerine yakındır. Ancak aynı müessesede farklı damarlarda çalışılan kömürlerin poroziteleri oldukça farklı çıkmıştır. Kozlu Çay damarında bir üretim bölgesinden alınan kömür örneğinin görünür porozitesi %1.24'tür. Üzülmaz Müessesesinde yine Çay damarındaki üretim bölgesinden alınan bir örneğin ise porozitesi %1.32'dir. Kozlu müessesesi Kurul damarından alınan başka bir kömür örneğinde ise görünür porozite %0.44 mertebesinde olduğu görülmüştür. Kömürlerin tek eksenli basınç dayanımları (UCS), çekme dayanımları ve nokta yükü dayanımı indeksleri (PLI) ile görünür porozite arasında ters ilişki göze çarpmaktadır. Görünür porozitesi yüksek kömürlerde bu dayanımlar düşerken, görünür porozitesi düşük olan kömürlerden alınan numunelerin bahsi geçen dayanımları daha yüksek sonuçlar göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Yoğunluk ve görünür porozite

Kod	Açıklama	Yoğunluk (gr/cm ³)	Görünür Porozite (%)
K3	Kozlu Kurul damarı kömür örneği	1.33	0.44
K2	Kozlu Çay damarı kömür örneği	1.29	1.24
Ü1	Üzülmaz Çay damarı kömür örneği	1.33	1.32
K1K	Kozlu kumrtaşı örneği	2.65	1.61
Ü1M	Üzülmaz marn örneği	2.86	1.26

3.1.2. Leeb Testi Sonuçları

Üzülmaz ve Kozlu müesseselerinden alınan kömür ve yan kayaç numunelerinde uygulanan leeb testi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Uygulamada bloklar üzerinde 2 farklı bölge hem doğal hali ile hem de pürüzsüzleştirilerek deney tekrarlanmıştır. Deney toplamda 40 ölçüm ile gerçekleştirilerek ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

Leeb testi önce doğal yüzeylere gerçekleştirilmiş ardından yüzey pürüzsüzleştirilerek pürüzsüz yüzeylere tekrar leeb gerçekleştirilmiştir. Örselemeyen bir test olması bakımıyla bu deneyde iki farklı sonuca ulaşılarak bir gözlem yapılması amaçlanmıştır. Doğal yüzeyler kömür örnekleri için taşlama cihazı kullanılarak 2 farklı incelikteki zımpara kağıdı yardımıyla pürüzsüzleştirilmiştir. Yan kayaçlardan alınan numunelerde zımpara kağıdı etkili olmadığı için bir parlak kesit hazırlamanın ilk adımı olan kesme işlemi uygulanarak yüzey pürüzsüzleştirilmiştir. Ardından yüzey yıkanarak teste hazır hale getirilmiştir.

Test sonuçlarında parlak yüzeyden okunan değerlerin, doğal yüzeyden elde edilen değerlere oranla %15 ila %40 arasında (numunelere göre farklılık göstermektedir) daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu oranın kömür gibi doğal yüzeyinin de kısmen parlak olduğu numunelerde düşük farklılıklar olduğu ancak doğal yüzeyinin düzgün olmadığı numunelerde ise bu farkın arttığı gözlemlenmiştir. Kömürün Leeb sertliği açısından değerinin marn ve kumtaşı gibi kayaçlara yakın olması, Leeb sertliği değerinin UCS veya çekme dayanımı tahmininde kullanımın doğru sonuçlar verip vermeyeceğini düşündürmektedir.

Örneğin Kozlu müessesesi -485 kotlu Kurul damarından alınan kömür bloğunun pürüzsüzleştirilmiş yüzeyine yapılan leeb testinde, kumtaşı veya marn örneklerinden daha yüksek sonuç elde edildiği yine Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Leeb sertlik testi sonuçları

Numune Kodu	Açıklama	Ortalama Leeb Sertlik Değeri
K1(Pürüzlü)	Kozlu Hacı Petro Damarı -500 hazırlık Alt Taban Kömür Örneği	423.5
K1 (Pürüzsüz)		475
K2(Pürüzlü)	Kozlu 3. Kartiye -485 Çay Damarı Ayaktan Alınan Kömür Örneği	534
K2 (Pürüzsüz)		652
Ü1(Pürüzlü)	Üzülmez 3. ocak bölgesi -273 Kirişli Yarı Mekanize Ayaktan Alınan Kömür Örneği	500
Ü1 (Pürüzsüz)		584
K3(Pürüzlü)	Kozlu -485 Milopero (Kurul) Damarı Kartiye 4 Kömür Örneği	600
K3 (Pürüzsüz)		697
K4(Pürüzlü)	Kozlu 3. Kartiye -485 Çay Damarı Ayaktan Alınan Kömür Örneği	556
K4 (Pürüzsüz)		629
Ü2(Pürüzlü)	Üzülmez -260 Nazifoğlu Damarına ait Kömür Örneği	511
Ü2 (Pürüzsüz)		539
Ü1M(Pürüzlü)	Üzülmez 3. Ocak Kirişli Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan alınan Marn Örneği	543
Ü1M (Pürüzsüz)		608.5
Ü2M(Pürüzlü)	Üzülmez 3. Ocak Kirişli Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan alınan Marn Örneği	526.5
Ü2M (Pürüzsüz)		628.5
K1K(Pürüzlü)	Kozlu -447 Nefeslikten alınan Kumtaş Örneği	496
K1K (Pürüzsüz)		696

3.1.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Nokta Yüğü Dayanım İndeksi, Endirekt Çekme Dayanımı ve Ultrasonik P Dalga Hızı Deney Sonuçları

Tek eksenli basma dayanımı deneyi numunelerden elde edilen karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney kömür örneklerinde ve yan kayaçlarda farklı cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kömür karotlarında, genellikle macun dolgu numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı (UCS) testleri için kullanılan ve maksimum yük kapasitesi 50 kN olan test cihazıyla dakikada 0.5 kN yükleme hızı ile test gerçekleştirilmiştir. Bu cihazın seçimi düşük dayanımlı kömür örneklerinden daha iyi sonuç almak amacıyla. Kömür ve yan kayaçlara da bu cihazla Brazilian deneyi yapılmıştır. Kömürlerde yapılan deneylerde, kömürlerin bir kısmının ilk yenilmeden sonra yine yük taşıma kapasitesine sahip oldukları gözlemlenmiştir.

Kömür; marn ve kumtaşıdan farklı olarak yapısı gereği birkaç yenilme noktasından sonra kullanılmaz hale gelebilmektedirler. Marn ve kumtaşı örnekleri yenilme yüküne erişildiğinde kırılarak parçalanmaktadırlar.

Marn ve kumtaşı örnekleri için yükleme hızı saniyede 1 kN olan 200 kN'luk test cihazıyla deneyler yapılmıştır. Bilgisayar programı yardımıyla yükleme gerçekleştirilmiştir. Yenilme yükü ve UCS değerleri kaydedilmiştir. Program çıktılarındaki UCS değeri ile yenilme yükü kullanılarak manuel olarak yapılan hesaplamalar örtüşmüştür.

Tek eksenli basınç dayanımı değerleri kömürler için ortalama <10 MPa çıkmıştır. Ancak homojen olmaması numuneler arasındaki dayanım değerlerinde farklılıklara yol açmıştır. Marn örneklerinde tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerleri ortalama 30 ila 55 MPa aralığında elde edilmiştir. Kumtaşı örneğinde ise bu değer 69,22 MPa'dır (Tablo 4).

Nokta yük dayanımı testi numunelerden alınan silindirik örnekler üzerinde eksenel deney yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kömür örneklerinde sonuçlar karot alınabilirlikle doğru orantılı çıkmıştır. Fazlaca karot alınmasına imkân veren Kozlu 3. ve 4. Kartiye ocak bölgelerinden alınan kömür bloklarından alınan örneklerin nokta yükü dayanımı indeksi (PLI) değerleri 0.6 ve 0.7 MPa olurken uzun karot çıkarılamayan sadece çekme dayanımı ve nokta yükü deneylerinde kullanılabilecek silindirik numunelerin alınabildiği Üzülmöz 3. Ocak bölgesi kömüründe ise bu değer 0.12 MPa olarak görülmektedir.

Endirekt çekme dayanımı testi numunelerden alınan silindirik örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Endirekt çekme dayanımları farklı ocak bölgelerinden alınan kömürler arasında oldukça farklılık göstermiştir. Kozlu Müessesesi kurul damarından alınan kömür bloğundan en yüksek ortalama değer 1.518 MPa ile elde edilmiştir. Kömür bloğunun sağlamlığı karot alma işlemlerinde düzgün karotlar vermesi ve kırılma veya parçalanma yaşanmamasından da belli olmaktadır. Ancak Üzülmöz müessesesi 3. ocak bölgesi çay damarı ayak içinden alınan örnek için bu değer, en yüksek değer yaklaşık $1/3$ 'ü kadar olduğu görülmektedir. Yine bu numuneden de az da olsa karot alınabilmiştir. Bu iki kömürün sağlamlığı arasındaki farklar gözle görülecek kadar belirgindir. Sonuçlarda aynı numuneden alınan örnekler arasında standart sapmanın düşük çıkması, ölçümlerin birbirlerinden az miktarda farklılık gösterdiğini anlatmaktadır.

Üzülmöz 3. Ocak bölgesinden alınan marn örnekleri arasında çekme dayanımları ciddi farklılık göstermiştir. Ü1M kodlu örnekte çekme dayanımı yaklaşık 5 MPa seviyelerinde iken Ü2M kodlu örneğin çekme dayanımı yaklaşık olarak 12 MPa olarak hesaplanmıştır. UCS ve PLI açısından en yüksek değerleri veren Kozlu kumtaşı (K1K) örneğidir.

Ultrasonik dalga hızı deneyi numunelerden alınan karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyden elde edilen sonuçlara göre örneklerin tamamı beklenen sonuçları vermiş ve deneyde mantıksızlık ile karşılaşılmamıştır. Kömür örneklerinde boy arttıkça P dalgasının geçiş süresi fazlasıyla artarken, marn ve kumtaşı gibi yan kayaçlarda bu artış oranı daha düşüktür. Bunun sebebi olarak kömürün içsel bozuklukları ve yapısındaki boşlukların daha fazla olmasıdır. Kömürün yapısı göz önünde bulundurulduğunda bu sonuç beklenen sonuçtur.

Marn örneklerinin P dalgası geçiş hızı kumtaşı örneğine göre yaklaşık olarak %25 daha fazla olduğu görülmüştür. Kumtaşı örneklerinin her ne kadar düşük dayanımlı kumtaşı sınıfında olduğu görülse de yaklaşık 70 MPa civarında bir tek eksenli basınç (UCS) dayanımına sahip olması nedeniyle marn numunesine göre daha yüksek bir P dalgası hızı beklenebilir. Bu durumun gerçeklememe sebebini bir örnekle açıklamak gerekirse, düşük çimento oranına sahip iyi derecelendirilmemiş bir betonun zayıf kayaçlardan daha çok dayanıma sahip olabileceği ancak bu zayıf kayaçların P dalgası hızının muhtemelen örnekte verdiğimiz beton numunesinden daha hızlı olabileceği düşünülebilir. Bu örnekte olduğu gibi boşluk içeriği daha yüksek olmasına rağmen dayanım parametrelerinin daha yüksek olması mümkündür. Kumtaşı, marn örnekleri göre daha çok boşluk oranına sahiptir. Bu durum sismik P dalga hızını yavaşlatmaktadır. Deney sonuçları Tablo 4' te paylaşılmıştır. Detaylı deney sonuçları ekler bölümünde tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 4. Kömür ve yan kayaç örneklerinin ortalama test sonuçları

Kod	Ortalama UCS (MPa)	Ortalama $I_{s(50)}$ (MPa)	Ortalama Çekme Yüğü (MPa)	Ortalama P Dalga Hızı (m/s)
K3	9.742 ±5.81	0.609 ±0.18	1.518 ±0.47	2257.7
K2	7.22 ±2.72	0.458 ±0.2	1.145 ±0.05	1878.67
K4	2.56 ±0.91	-	-	1928.67
K1K	69.22 ±7.72	3.132 ±1.03	7.052 ±0.2	3115.67
Ü1M	30.237 ±10.46	2.167 ±1.04	4.87 ±2.87	4762.67
Ü2M	54.5 ±9.89	-	11.909 ±3.45	4205
K1M	-	-	6.71 ±1.9	-
Ü1	-	0.102 ±0.04	0.537 ±0.17	-

3.1.4. TTK Kozlu ve Üzülmaz Müesseselerinde Farklı Ocaklardan Alınan Kömür ve Yan Kayacın Veriler Kapsamında Değerlendirilmesi

Kozlu müessesesinden alınan kömürlerden Kurul ve Çay damarlarından alınmış olanlardan ve Üzülmaz müessesesinden yine Çay damarından alınan kömür bloklarından verimli karotlar alınabilmektedir. Alınan diğer kömür bloklarında ise kömürün karot alınırken parçalandığı veya birkaç santimetre boyutlarında kırıklı yapılar şeklinde elde edildiği görülmüştür.

Kömürlerde her zaman tabakalanma düzlemleri ve takozlar bulunur; aynı zamanda kırılğan yapıları vardır. Bu nedenle, standart dayanım testleri için kömürden prizmatik/silindirik numunelerin çıkarılması veya kesilmesi zordur ve bazen mümkün değildir. Bu nedenle PLI gibi kolay testlerden kömür dayanımının tahmin edilmesine yönelik yöntemler kullanışlı olmaktadır (Kahraman vd., 2017; Karaman vd., 2024). Şekil 19’da kömür örneklerinden hazırlanan farklı karot uzunluklarına yer verilmiştir. Bu yöntemle L/D oranları ile UCS dayanımları arasında ilişki kurmak faydalı olmaktadır.

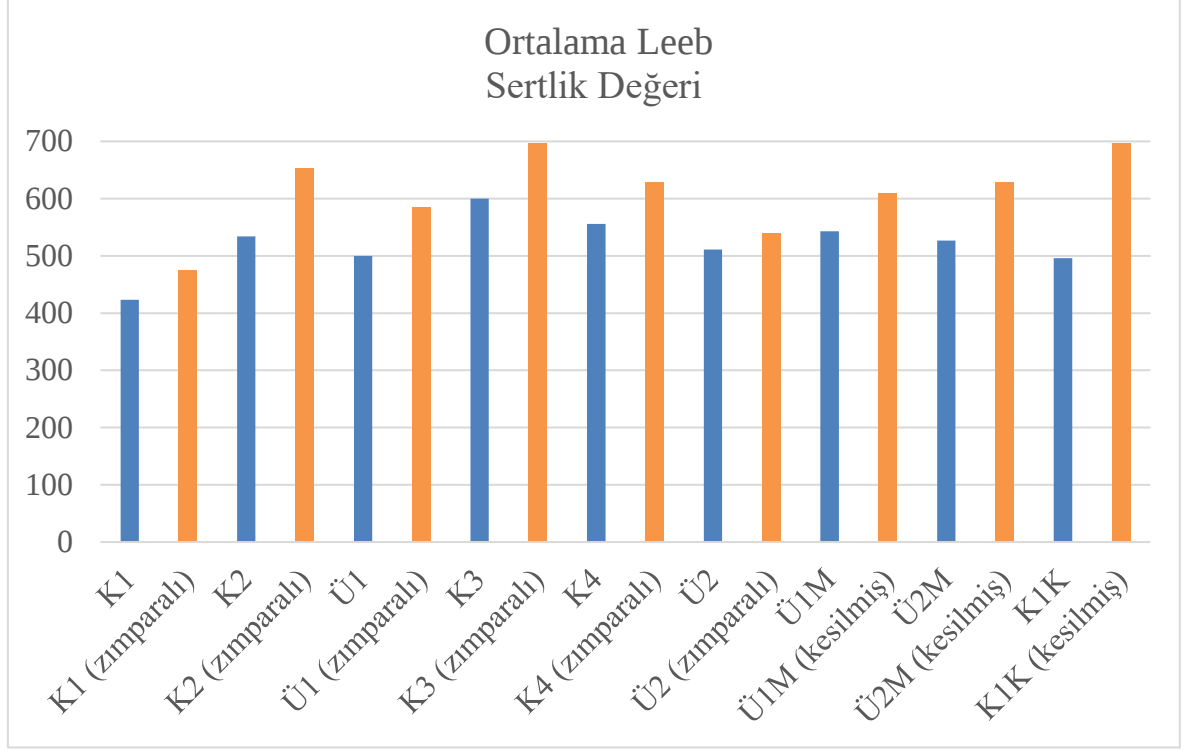


Şekil 19. 1.5, 2 ve 2.5 L/D oranlarında hazırlanan kömür örnekleri

Corkum vd. (2018) çalışmalarında kayalar için Leeb sertlik testini güncellemiş ve yeni bir metodoloji önererek tek eksenli basınç dayanımı ile ilişkisini araştırmışlardır. Çelik vd., (2020) çalışmalarında Leeb sertlik ölçümlerinin doğal taşların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi konusunu çalışmışlardır. Gomez-Heras vd, (2020) çalışmalarında Leeb sertlik ölçümlerinden faydalananarak tek eksenli basınç dayanımı tahminlerini iyileştirmenin bir yolu olarak ultrasonik hız ölçümlerini de kullanmışlardır. İnce ve Bozdağ (2021) çalışmalarında Leeb sertlik testinde numune büyüklüğünün incelenmesi ve magmatik kayaların bazı indeks özelliklerinin tahmini konusunu çalışmışlardır (Ekincioglu vd., 2022).

Bu çalışmada yan kayalar ve kömürlerin leeb testi değerlerinin kayaların kendi grubu içerisinde çeşitli indeks değerlerine paralel olarak leeb sertliği yüksek çıkan kayaların, PLI ve UCS dayanımı değerlerinin de yüksek sonuç verdikleri görülmüştür. Leeb sertliği kömür yüzeylerinde ve kayalarda yakın değerler göstermekte ancak bu farklı kayalar arasında dayanım ve fiziksel özellikler bakımından ciddi farklılıklar görülmektedir. Pürüzsüz yüzeylerde yapılan sertlik testinin kayaların fiziksel özelliklerini daha doğru

anlattığı yapılan diğer deneylerden elde edilen verilerde görülmüştür. Kömürlerin yüzey sertliği (pürüzlü veya pürüzsüz) kendi jeomekanik özelliklerini net bir şekilde temsil etmemektedir. Şekil 20 ‘de pürüzlü ve pürüzsüz yüzeylerin Leeb sertliği (HL) değerleri ve yüzey durumunun HL değerlerine etkisi görülmektedir.



Şekil 20. Kömür ve yan kayaçların pürüzlü-pürüzsüz yüzeylerinin leeb sertliğine etkisi

3.2. Kazılabilirliğin Değerlendirilmesi

Mühendislik projelerinde kazı yöntemi ekonomiklik ve güvenlik açısından önemli bir yer tutmaktadır. Kaya malzemesinin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi, bir anlamda da kazılabilirliğin belirlenmesi demektir. Kazılabilirlik ayrıca kullanılan ekipmanların özelliklerine ve uygulanan kazı yöntemine de bağlıdır (Pettifer ve Fookes, 1994). Literatürde araştırmacılar yaptıkları çalışmalarla kayaların kazılabilirliğine dair birçok yöntem önermişlerdir. Kayaların kazılabilirlik durumlarının belirlenmesi için hazırlanan, kayanın kazılabilirlik seviyesini belirten ilk kazılabilirlik indeksi, sökülebilirlik puan kartı Weaver (1975) tarafından ileri sürülmüştür. Kaya kütle sınıflama sistemleri yardımıyla geliştirilmiştir. Kazılabilirliğin tayin edilmesinde klavuz görevi görmektedir (Karaman, 2011). Sismik hıza bağlı kazılabilirlik sınıflaması Tablo 5 ‘e göre değerlendirilmiştir.

Tablo 5. Sismik hız değerleriyle kazılabilirlik sınıflaması (Weaver, 1975)

Zon Adı	Sismik Dalga Hızı Değeri (m/s)	Sökülebilirlik
1	300-600	Çok kolay
2	600-900	Kolay
3	900-1500	Orta
4	1500-2100	Zor
5	2100-2400	Çok zor
6	2400-2700	Son derece zor

Bu başlık altında, çalışmada elde edilen dayanım indeksleri, Yeraltı çalışmaları sırasında yapılan gözlem ve ölçümler (2. Bölüm) kullanılarak kazılabilirliğin irdelenmesi yapılmıştır. Kazılabilirlik durumu Tablo 6'de Müftüoğlu ve Scoble (1985) esas alınarak tahmin edilmiştir.

Tablo 6. Kazılabilirlik ile ilgili puanlama sistemi (Müftüoğlu ve Scoble, 1985)

Parametre, Sınıf	I	II	III	IV	V
Ayrışma Derecesi	Tümüyle	Oldukça	Orta Derecede	Hafifçe	Ayrışmamış
Puanlama (AD)	0	5	15	20	25
T.E.B.D. (MPa)	20	20-40	40-60	60-100	100
Puanlama (Dn)	0	10	15	20	25
Nokta Yük İndeksi Is(50) (MPa)	0.5	0.5-1.5	1.5-2	2-3.5	3.5
Puanlama (Dn)	0	10	15	20	25
Çatlaklar Arası Mesafe (m)	0.3	0.3-0.6	0.6-1.6	1.5-2	2
Puanlama (Ç)	5	15	30	45	50
Katmanlaşma Kalınlığı (m)	0.1	0.1-0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	1.5
Puanlama (K)	0	5	10	20	30
Toplam Puan:	5-40 Kazı çok kolay, 40-50 Kolay, 50-60 Biraz zor, 60-70 Zor, 70-95 Oldukça Zor				

Yapılan ölçümler ve deney sonuçlarından elde edilen dayanım değerlerine, sismik P dalga hızı ölçümlerine, süreksizlik ve tabaka özelliklerine göre örneklerin kazılabilirlikleri Tablo 6 esas alınarak tahmin edilmiştir. Yapılan değerlendirme Tablo 7, 8 ve 9'de verilmiştir. Değerlendirmede kullanılan puanlamalar tablolar üzerinde koyu renk ile işaretlenmiştir. Bu tahminlere göre kömürün yan kayaçlarını oluşturan kumtaşının kazılabilirlik sınıfının zor, marnın kazılabilirlik sınıfının biraz zor olduğu tahmin edilmiştir. Kömürün kazılabilirliğinin ortalamalar kullanılması açısından genellikle çok kolay ve bazı damarlarda kolay kazılabilirlik sınıfında olduğu yine tablo esas alınarak tahmin edilmiştir.

Tablo 7. Kumtaşı örnekleri için kazılabilirliğin tahmini

Parametre, Sınıf	I	II	III	IV	V
Ayrışma Derecesi	Tümüyle	Oldukça	Orta Derecede	Hafifçe	Ayrışmamış
Panlama (AD)	0	5	15	20	25
T.E.B.D. (MPa)	20	20-40	40-60	60-100	100
Panlama (Dn)	0	10	15	20	25
Nokta Yük İndeksi Is(50) (MPa)	0.5	0.5-1.5	1.5-2	2-3.5	3.5
Puanlama (Dn)	0	10	15	20	25
Çatlaklar Arası Mesafe (m)	0.3	0.3-0.6	0.6-1.6	1.5-2	2
Puanlama (Ç)	5	15	30	45	50
Katmanlaşma Kalınlığı (m)	0.1	0.1-0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	1.5
Puanlama (K)	0	5	10	20	30
Toplam Puan: 70	5-40 Kazı çok kolay, 40-50 Kolay, 50-60 Biraz zor, 60-70 Zor, 70-95 Oldukça Zor				

Tablo 8. Marn örnekleri için kazılabilirliğin tahmini

Parametre, Sınıf	I	II	III	IV	V
Ayrışma Derecesi	Tümüyle	Oldukça	Orta Derecede	Hafifçe	Ayrışmamış
Panlama (AD)	0	5	15	20	25
T.E.B.D. (MPa)	20	20-40	40-60	60-100	100
Panlama (Dn)	0	10	15	20	25
Nokta Yük İndeksi Is(50) (MPa)	0.5	0.5-1.5	1.5-2	2-3.5	3.5
Puanlama (Dn)	0	10	15	20	25
Çatlaklar Arası Mesafe (m)	0.3	0.3-0.6	0.6-1.6	1.5-2	2
Puanlama (Ç)	5	15	30	45	50
Katmanlaşma Kalınlığı (m)	0.1	0.1-0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	1.5
Puanlama (K)	0	5	10	20	30
Toplam Puan: 55	5-40 Kazı çok kolay, 40-50 Kolay, 50-60 Biraz zor, 60-70 Zor, 70-95 Oldukça Zor				

Tablo 9. Kömür örnekleri için kazılabilirlik tahmini

Parametre, Sınıf	I	II	III	IV	V
Ayrışma Derecesi	Tümüyle	Oldukça	Orta Derecede	Hafifçe	Ayrışmamış
Panlama (AD)	0	5	15	20	25
T.E.B.D. (MPa)	20	20-40	40-60	60-100	100
Panlama (Dn)	0	10	15	20	25
Nokta Yük İndeksi Is(50) (MPa)	0.5	0.5-1.5	1.5-2	2-3.5	3.5
Puanlama (Dn)	0	10	15	20	25
Çatlaklar Arası Mesafe (m)	0.3	0.3-0.6	0.6-1.6	1.5-2	2
Puanlama (Ç)	5	15	30	45	50
Katmanlaşma Kalınlığı (m)	0.1	0.1-0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	1.5
Puanlama (K)	0	5	10	20	30
Toplam Puan: 30	5-40 Kazı çok kolay, 40-50 Kolay, 50-60 Biraz zor, 60-70 Zor, 70-95 Oldukça Zor				

Bu çalışmada kazılabilirlik tahminin güvenilirliğini arttırmak için ikinci bir ampirik yöntemle de tahmin yapılmıştır. Bu tahmin aşağıda verilen Tablo 10'da Başarır ve Karpuz (2004), bir linyit madeninde yan kayaç olarak bulunan marnlarla çalışarak geliştirdikleri kazılabilirlik belirleme puanlama sistemine göre yapılmıştır. Yine bu puanlama sisteminde Schmidt çekici değerinin tahmini Tablo 11'de (Karaman ve Kesimal, 2015) tarafından verilen UPV ile UCS ilişkisiyle belirlenmiştir.

Tablo 10. Kazılabilirlik derecelendirme tablosu (Başarır ve Karpuz, 2004)

Parametre	Sınıf				
	1	2	3	4	5
Sismik P dalga hızı (m/s)	0-800	800-1000	1000-2000	2000-2500	>2500
Puan	0 - 5	5-15	15-20	20-30	30
Nokta yük indeksi (MPa)	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	1-2	>2
Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	<0.5	5-15	15-25	25-45	>45
Puan	0-5	5-18	15-25	25-35	35
Ortalama süreksizlik aralığı (m)	<0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2.5	>2.5
Puan	0-3	3-10	10-14	14-20	20
Schmidt çekici sertliği	<15	15-35	35-45	45-50	>50
Puan	0-2	2-7	7-10	10-15	15
Puanlama: 0-20: Çok kolay, 20-55: Kolay, 55-70: Orta, 70-85: Zor, 85-95: Çok zor, 95-100: Patlatma gerekli					

Tablo 11. UPV/UCS oranı ve Schmidt sertliğine göre sınıflama (Karaman ve Kesimal, 2015)

Schmidt setlik Sınıfı	Tanımlama	Ortalama UPV/UCS Oranı
0-10	Yumuşak	>230
10-20	Kısmen yumuşak	100-230
20-40	Kısmen sert	60-100
40-50	Sert	45-60
50-60	Çok sert	30-45
>60	Oldukça çok sert	<30

Aşağıda verilen Tablo 12’de kumtaşı, Tablo 13’de marn ve Tablo 14’te ise kömür örnekleri için ikinci bir kazılabilirlik tahmini yapılmıştır. Tablo üzerinde puanlamalar koyu renk ile gösterilmiştir. Birinci yöntemle yapılan kazılabilirlik tahminini doğrulayacak sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 12. Kumtaşı örnekleri için ikinci yöntemle kazılabilirlik tahmini

Parametre	Sınıf				
	1	2	3	4	5
Sismik P dalga hızı (m/s)	0-800	800-1000	1000-2000	2000-2500	>2500
Puan	0 - 5	5-15	15-20	20-30	30
Nokta yük indeksi (MPa)	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	1-2	>2
Tek eksenli basma dayanımı (Mpa)	<0.5	5-15	15-25	25-45	>45
Puan	0-5	5-18	15-25	25-35	35
Ortalama süreksizlik aralığı (m)	<0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2.5	>2.5
Puan	0-3	3-10	10-14	14-20	20
Schmidt çekici sertliği	<15	15-35	35-45	45-50	>50
Puan	0-2	2-7	7-10	10-15	15
Puanlama: 80 0-20: Çok kolay, 20-55: Kolay, 55-70: Orta, 70-85: Zor, 85-95: Çok zor, 95-100: Patlatma gerekli					

Tablo 13. Marn örnekleri için ikinci yöntemle kazılabilirlik tahmini

Parametre	Sınıf				
	1	2	3	4	5
Sismik P dalga hızı (m/s)	0-800	800-1000	1000-2000	2000-2500	>2500
Puan	0 - 5	5-15	15-20	20-30	30
Nokta yük indeksi (MPa)	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	1-2	>2
Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	<0.5	5-15	15-25	25-45	>45
Puan	0-5	5-18	15-25	25-35	35
Ortalama süreksizlik aralığı (m)	<0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2.5	>2.5
Puan	0-3	3-10	10-14	14-20	20
Schmidt çekici sertliği	<15	15-35	35-45	45-50	>50
Puan	0-2	2-7	7-10	10-15	15
Puanlama: 72 0-20: Çok kolay, 20-55: Kolay, 55-70: Orta, 70-85: Zor, 85-95: Çok zor, 95-100: Patlatma gerekli					

Tablo 14. Kömür örnekleri için ikinci yöntemle kazılabilirlik tahmini

Parametre	Sınıf				
	1	2	3	4	5
Sismik P dalga hızı (m/s)	0-800	800-1000	1000-2000	2000-2500	>2500
Puan	0 - 5	5-15	15-20	20-30	30
Nokta yük indeksi (MPa)	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	1-2	>2
Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	<0.5	5-15	15-25	25-45	>45
Puan	0-5	5-18	15-25	25-35	35
Ortalama süreksizlik aralığı (m)	<0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2.5	>2.5
Puan	0-3	3-10	10-14	14-20	20
Schmidt çekici sertliği	<15	15-35	35-45	45-50	>50
Puan	0-2	2-7	7-10	10-15	15
Puanlama: 40 0-20: Çok kolay, 20-55: Kolay, 55-70: Orta, 70-85: Zor, 85-95: Çok zor, 95-100: Patlatma gerekli					

4. SONUÇLAR

Türkiye Taşkömürü Kurumu'nda daha önce kullanılan yöntemlere göre yarı mekanize tahkimat sistemleri ekonomik, iş gücü ihtiyacının az olduğu, İSG yönünden avantajlar sağladığı, konforlu bir çalışma ortamını çalışanlar için sunduğu açıktır. Müessese bünyesinde çalışan hem ayak içinde üretim faaliyetlerini gerçekleştiren personelin hem de mekanik kısımda görev alıp makine ve ekipmanların bakımı ve tamiri ile ilgilenen personelin yarı mekanize tahkimat sisteminde deneyimli oluşu çıkabilecek sorunları minimuma indirmektedir. Bir sorun çıkması durumunda ivedilikle çözüme kavuşturulabilmektedir.

Yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda kömür ve yan kayaçların UCS, PLI ve çekme dayanımı, dayanımları belirlenmiştir. Kömürler kendi içlerinde çeşitlilik göstermekle beraber hepsinin çok düşük dayanımlara sahip olduğu anlaşılmıştır. Kumtaşı ve marn örneklerinin sırasıyla 69.2 ve 54.5 MPa arasındaki UCS dayanımın bu kayaçların sağlam ve orta sağlam sınıflarında olacağını göstermektedir.

Leeb sertliğinde, pürüzsüz yüzeylerde, pürüzlü yüzeylere oranla daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Kömürler için pürüzsüz yüzeyler pürüzlü yüzeylerden ortalama %18 fazla ölçülürken bu değer marnlarda %10 ve kumtaşı örneğinde %40'tır.

Kömür, kumtaşı ve marn örneklerinde ampirik yöntemler yardımıyla kazılabilirlik tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kömürün çok kolay kazılabilir olduğu görülmüştür. Ancak kumtaşı ve marn numunelerinde sırasıyla oldukça zor ve zor kazılabilirlik sınıfında olduğu görülmüştür. Yeraltında nefeslik ve hazırlık galerileri sürülüşü sırasında karşılaşılan bu kayaçlarda kimi zaman patlatma için havalı tabanca (Martopikör) ile delik delme işlemlerinin dahi güçlüklerle gerçekleştirildiği bilinmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Ahıska, T. & Esen, H. 1987. Uzun Ayaklarda Yürüyen Tahkimat Sistemlerinin Gelişmesi ve Dizayn Karakteristikleri. Madencilik, XXVI, 5,18.
- Akram, M. & Bakar, M.Z.A., 2007. Correlation Between Uniaxial Compressive Strength and Point load Index for Salt-Range Rocks, Pak. J. Engg. Sci. ISSN 1995–1302, 1-8.
- Arioğlu, E. & Yılmaz, A. O., 2002. Dünyada Taşkömürü Madenciliğine Genel Bakış ve Zonguldak Taşkömürü Havzası'nın Değerlendirilmesi, Türkiye 13. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak.
- Aydin, A. & Basu, A., 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. Eng Geol 81:1–14
- Başarır, H. & Karpuz, C., 2004. A rippability classification system for marls in lignite mines. Engineering Geology 74 (2004) 303 – 318.
- Beşer, M.H., 2023. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi, Kaya Mekaniği Laboratuvarı Ders Notları (Yayınlanmamış), K.T.Ü., Trabzon.
- Bieniawski, ZT., 1975. The point load test in geotechnical practice. Eng. Geol.,Sept, 1–11.
- Birol, M., 2022. TTK ÜTİM Asma Dilaver Üretim İşletmesi Çay Panosunda Yarı Mekanize Tahkimat Sistemleri ile İki Katlı Olarak Çalışan Tv. ve Tb. Ayakların, Klasik Ahşap Tahkimat Modellemesi Yapılarak Ayak İçi Verimlilik ve Maliyetlerinin Karşılaştırılması, Türkiye 22. Uluslararası Kömür Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Zonguldak.
- Broch, E. & Franklin, J.A., 1972. The point load strength test. Int. Journal Rock Mech.Min. Sci, 9, 1972, 669–697.
- Corkum, A.G., Asiri, Y., El Naggar, H. & Kinakin, D., 2018. The Leeb Hardness Test for Rock: An Updated Methodology and UCS Correlation. Rock Mechanics and Rock Engineering, 51 (3), 665. doi:10.1007/s00603-017- 1372-2
- Çelik, S.B. & Çobanoğlu, İ., 2019. Comparative investigation of Shore, Schmidt, and Leeb hardness tests in the characterization of rock materials. Environmental Earth Sciences, 78 (554): 1-16.
- Çelik, S.B., Çobanoğlu, İ. & Koralay, T., 2020. Investigation of the Use of Leeb Hardness in the Estimation of Some Physical and Mechanical Properties of Rock Materials. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26 (8), 1385-1392.

- Çetinkaya, U., 2019. Yerli İmkanlarla Üretilen Kalkan Tipi Yürüyen Tahkimatın Üretimi ve Uygulaması. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Çolpan, S., 2019. Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kömürlerinden Farklı Kalitelere Kömür Üretim Olasılıklarının Araştırılması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- D.P.T., 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Enerji Hammaddeler Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu. Ankara DPT:2605-ÖİK:616.
- Ekincioglu, G., Akbay, D. & Sert, M., 2022. Doğaltaşların Geri Tepme Sertlikleri İle Bazı Kayaç Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, 13. Bölgesel Kaya Mekanik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 59- 66, Isparta.
- Gomez-Heras, Miguel, David Benavente, Concepcion Pla, Javier Martinez-Martinez, Rafael Fort, & Vicente Brotons. 2020. Ultrasonic Pulse Velocity as a Way of Improving Uniaxial Compressive Strength Estimations from Leeb Hardness Measurements. Construction and Building Materials 261 (November). doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119996.
- Gökçeğül, G., 2007. Linyit Kömürü Ara Urunun Flotasyon ile Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Gökçeoğlu, C., 1996 Schmidt sertlik çekici kullanılarak tahmin edilen tek eksenli sıkışma dayanımı verilerinin güvenilirliği üzerine bir değerlendirme. Jeoloji Mühendisliği 48:78–81.
- Güldan, G., 2010. Zonguldak Taşkömürünün Kuru Zenginleştirilmesi. İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- ISRM, 1978. International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field tests: Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 15, 319–368.
- ISRM, 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 s.
- ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, International Journal of Rock mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, 22, 53-60.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay, R., J.A. Hudson, Kozan Offset Press, Ankara, 153- 154.
- İnce, İ. & Bozdağ, A., 2021. An investigation on sample size in Leeb hardness test and prediction of some index properties.

- İphar, M., 2004. Bulanık Kümelerin Sökücü Seçimi Amacıyla Kazılabilirlik Sınıflama Sistemlerine Uygulanması, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.
- İskender, Y. & Karaman, K., 2023. Yarı Mekanize Tahkimat Sistemi ve TTK Üzülmez Müessesesindeki Uygulaması, 5. Uluslararası Yeraltı Kazıları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Kahraman, S., Aloglu, A. S., Aydın, B. & Saygin, E., 2017. The Needle Penetration Test for Predicting Coal Strength, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 117, 6, 587-591.
- Karaman, K. 2011. Taşönü (Trabzon-Araklı) Kalker Ocağındaki Şevlerin Duraylılık Açısından İncelenmesi. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Karaman, K., Kaya, A. & Kesimal, A. 2015 Use Of The Point Load Index In Estimation Of The Strength Rating For The Rmr System. Journal of African Earth Sciences, vol.106, pp.40-49.
- Karaman, K. & Kesimal, A., 2015. Correlation of Schmidt Rebound Hardness with Uniaxial Compressive Strength and P-Wave Velocity of Rock Materials, Arabian Journal For Science And Engineering , vol.40, no.7, pp.1897-1906, 2015
- Karaman, K., Şahinoğlu, E. & İskender, Y., 2024. Kömür Dayanımının Tahmininde Dönüşüm Faktörü ve Dayanım Oranının Kullanımının Araştırılması, Türkiye 23. Uluslararası Kömür Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s. 199-209, Zonguldak.
- Karpuz, C., 1990. A Classification System for Excavation of Surface Coal Measures, Mining Science and Technology, Vol. 11, p.157-163.
- Kavaz, İ., 2019. Yerli ve Milli Politikalar Ekseninde Kömür. Seta|Analiz, Sayı:265.
- Kaya, A. & Karaman, K. 2016. Utilizing The Strength Conversion Factor in The Estimation Of Uniaxial Compressive Strength From The Point Load Index. Bulletin Of Engineering Geology And The Environment, vol.75, no.1, pp.341-357.
- Kaya, S., 2017. Endirekt (Dolaylı) Çekme Dayanımı (Brazılan) Deneyi, Kaya Mekaniği Laboratuvarı Ders Notları (Yayınlanmamış), K.T.Ü., Trabzon.
- Kemal, M., 1991. Linyit kömürü değerlendirilmesi ve kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri, Önal, G., Atesok, G., Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, YMGV, 270-282s.
- Kılıc, A. & Teymen, A., (2008). Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. Bull Eng Geol Environ 67:237–244.
- Kirsten, H.A.D., 1983. Efficient Use on Construction of Tractor Mounted Rippers, The Civil Engineer in South Africa, p. 247-264.

- Kurşunoğlu, N., 2019, Zonguldak Taşkömürü Havzasında Meydana Gelen Degaj Olaylarına Etki Eden Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modellemesi ile Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- McFeat-Smith, I. & Fowell, R. J., 1979. The Selection and Application of Roadheaders for Rock Tunneling. Rapid Excavation Tunneling Conference, Georgia, Proceedings Book, 1, 261-279.
- Minty, E.J. & Kearns, G.K., 1983. Rock Mass Workability, Hydrogeology and Environmental Geology, Spec. Publ., No.11, Geol. Soc.
- Müftüoğlu, Y.V. & Scoble, M.J., 1985. Kömür açık işletmeciliğinde kazılabilirliği belirleme yöntemleri, Türkiye 9. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı, Ankara, 29-37.
- O'Rourke JE 1989 Rock index properties for geoengineering in underground development. Min Eng 41:106–110.
- Öztürk, C.A., Özbakır, A.D. & Nasuf. E., 2004. Nokta yük ve tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi, Kaya Mekaniği, VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Ekim 21-22, Sivas.
- Öztürk, M., 2014. Taşkömürü havzası damar gaz içeriklerini tespit çalışmaları, Türkiye Taşkömürü Kurumu, İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Yayını, Yayın no: 71, s. 1-50.
- Pettifer. G. S. & Fookes, P. G. 1994. A Revision of The Graphical Method For Assessing the Excavatability of Rock. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. Volume 27, Number 2.
- Singh, R.N., Denby, B., Egretli, I. & Pahtan, A.G., 1986. Assessment of Ground Rippability in Opencast Mining Operations, Mining Magazine, University of Nottingham, Vol.38, p.21-34.
- Smith, H.J., 1986. Estimating Rippability by Rock Mass Classification, Proc. 27th US Symp. on Rock Mechanics, University of Alabama, p. 443-448.
- Topal, T., 2000. Nokta Yükleme Deneyi ile İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler; Jeoloji Mühendisliği, 24,73-85.
- TTK, 2022., Türkiye Taşkömürü Kurumu Veri Tabanı, Zonguldak.
- URL-1. (2024, Eylül 17). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Resmi İnternet Sayfası <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabii-kaynaklar-komur> adresinden alınmıştır.
- Weaver, J.M., 1975. Geological Factors Significant in The Assessment of Rippability, The Civil Engineer in South Africa, 17, 313–316.

- Yagiz, S. 2009. Predicting uniaxial compressive strength, modulus of elasticity and index properties of rocks using the Schmidt hammer. Bull Eng Environ 68:55–63.
- Yaşar, S., 2013. Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Çeşitli Kayaçların ve Cevherlerin Kazılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. s.7-15.
- Yaşar, E. & Erdoğan, Y., 2004. Estimation of rock physiomechanical properties using hardness methods. Eng Geol 71:281–288.
- Yılmaz I. & Sendir H 2002. Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey). Eng Geol 66:211–219.



6. EKLER

Ek 1. Tek eksenli basınç dayanımı detaylı sonuçları

Kod	Alt kod	Açıklama	Boy (cm)	Yük (kN)	σ_c (MPa)	Ortalama (MPa)
K3	KM ₁	Kozlu -485 Milopero (Kurul) Damarı Kartiyeye 4 Kömür Örneği	13.2	11.386	5.161	9.742 $\pm$ 5.81
	KM ₂		13.3	9.066	4.109	
	KM ₃		13.3	37.332	16.921	
	KM ₄		10.6	34.799	15.773	
	KM ₅		11.2	12.535	5.682	
	KM ₆		10.2	12.8	5.802	
	KM ₇		7.2	36.691	16.631	
	KM ₈		8.1	8.562	3.881	
	KM ₉		8.2	30.273	13.722	
K2	K2 ₁	Kozlu 3. Kartiyeye -485 Çay Damarı Ayaktan Alınan Kömür Örneği	9.6	22.443	10.173	7.223 $\pm$ 2.72
	K2 ₂		8.2	14.737	6.680	
	K2 ₃		8.9	10.625	4.816	
K4	K4 ₁	Kozlu 3. Kartiyeye -485 Çay Damarı Ayaktan Alınan Kömür Örneği	15.1	6.302	2.856	2.559 $\pm$ 0.91
	K4 ₂		14.5	7.257	3.289	
	K4 ₃		9.6	3.38	1.532	
K1K	S ₁	Kozlu -447 Nefeslikten alınan Kumtaşı Örneği	9.9	160.923	72.941	69.226 $\pm$ 7.72
	S ₂		10.2	133.154	60.355	
	S ₃		10.2	164.102	74.382	
Ü1M	M ₁	Üzülmez 3. Ocak Kırşlı Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan alınan Marn Örneği	10	77.58	35.165	30.237 $\pm$ 10.46
	M ₂		10.3	40.193	18.218	
	M ₃		10.3	82.353	37.328	
Ü2M	M ₁	Üzülmez 3. Ocak Kırşlı Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan Alınan Marn Örneği	12.4	142.403	64.547	54.5 $\pm$ 9.89
	M ₂		12	90.775	41.145	
	M ₃		11.4	119.203	54.031	
	M ₄		10.1	128.599	58.290	

Ek 2. Endirekt çekme dayanımı detaylı sonuçları

Kod	Alt kod	Açıklama	Boy (cm)	Yenilme Yüğü (kN)	Çekme Yüğü (MPa)	Ort (MPa)
K3	KM ₁	Kozlu -485 Milopero (Kurul) Damarı Kartıye 4 Kömür Örneğı	2.9	3.242	1.343	1.518 ±0.47
	KM ₂		2.6	2.554	1.180	
	KM ₃		1.7	1.674	1.183	
	KM ₄		3.8	6.197	1.959	
	KM ₅		2.2	3.595	1.963	
	KM ₆		2.7	1.672	0.744	
	KM ₇		2.4	2.134	1.068	
	KM ₈		2.8	4.159	1.784	
	KM ₉		2.5	4.529	2.176	
	KM ₁₀		2.6	3.845	1.776	
K2	K2	Kozlu 3. Kartıye -485 Çay Damarı Ayaktan Alınan Kömür Örneğı	2.4	2.354	1.178	1.145 ±0.05
	K2		2.8	2.593	1.112	
Ü1	Ü1	Üzölmez 3. Ocak bölgesi -273 Kırışlı Yarı Mekanize Ayaktan Alınan Kömür	2.8	1.534	0.658	0.537 ±0.17
	Ü1		2.3	0.798	0.417	
K1K	K1K	Kozlu -447 Nefeslikten Alınan Kumtaş Örneğı	2.6	14.963	6.913	7.052 ±0.2
	K1K		2.5	14.969	7.192	
Ü1M	M ₁	Üzölmez 3. Ocak Kırışlı Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan Alınan Marn Örneğı	2.8	6.615	2.838	4.87 ±2.87
	M ₂		3	17.238	6.902	
Ü2M	Ü2M1	Üzölmez 3. Ocak Kırışlı Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan Alınan Marn Örneğı	2.2	28.009	15.292	11.909 ±3.45
	Ü2M2		2.3	25.609	13.374	
	Ü2M3		2.1	15.932	9.113	
	Ü2M4		2.4	15.815	7.915	
	Ü2M5		2.4	32.087	16.059	
	Ü2M6		1.9	15.34	9.698	
K1M	K1M ₁	Kozlu -500 kotundan alınan Marn Örneğı	2.6	16.696	7.713	6.71 ±1.9
	K1M ₂		2.8	17.263	7.406	
	K1M ₃		2.6	8.36	3.862	
	K1M ₄		2.7	17.664	7.858	

Ek 3. Nokta yükü dayanımı detaylı sonuçları

Kod	Alt Kod	Açıklama	Boy (cm)	Yenilme Yüğü (kN)	Is ₍₅₀₎ (MPa)	Ort (MPa)
K3	KM ₁	Kozlu -485 Milopero (Kurul) Damarı Kartiye 4 Kömür Örneği	3.1	1.438	0.660	0.609 ±0.18
	KM ₅		1.7	0.494	0.361	
	KM ₆		2.5	0.944	0.512	
	KM ₇		2.7	0.946	0.483	
	KM ₈		3.5	1.374	0.574	
	KM ₉		2.8	1.82	0.904	
	KM ₁₀		2.7	1.51	0.771	
K2	K2	Kozlu 3. Kartiye - 485 Çay Damarı Ayaktan Alınan Kömür Örneği	3.6	1.098	0.449	0.458 ±0.2
	K2		3.3	0.492	0.215	
	K2		3.4	1.698	0.725	
	K2		3.3	1.012	0.443	
Ü1	Ü1	Üzülmez 3. ocak bölgesi -273 Kirişli Yarı Mekanize ayaktan alınan Kömür Örneği	3	0.298	0.140	0.102 ±0.04
	Ü1		3.6	0.288	0.118	
	Ü1		2	0.08	0.051	
	Ü1		3.6	0.168	0.068	
	Ü1		2.5	0.248	0.134	
K1K	K1K	Kozlu -447 Nefeslikten alınan Kumtaşı Örneği	1.7	2.646	1.934	3.132 ±1.03
	K1K		2.6	7.63	4.014	
	K1K		1.7	5.494	4.017	
	K1K		2.6	6.812	3.583	
	K1K		2.6	4.018	2.113	
Ü1M	Ü1M	Üzülmez 3. Ocak Kirişli Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan alınan Marn Örneği	3	5.938	2.796	2.167 ±1.04
	Ü1M		2.6	3.462	1.821	
	Ü1M		2.9	2.092	1.011	
	Ü1M		2.2	5.994	3.589	
	Ü1M		3	2.254	1.061	
	Ü1M		2.3	4.71	2.725	

Ek 4. Ultrasonik P dalga hızı detaylı sonuçları.

Kod	Alt kod	Açıklama	Boy (cm)	Geçiş Süresi (μs)	Hız (m/s)
K3	KM ₁	Kozlu -485 Milopero (Kurul) Damarı Kartiyeye 4 Kömür Örneği	13.2	53.6	2369
	KM ₂		13.3	54.5	2349
	KM ₃		13.3	55.5	2306
	KM ₄		10.6	43.7	2311
	KM ₅		11.2	45.6	2346
	KM ₆		10.2	44	2205
	KM ₇		7.2	28.2	2376
	KM ₈		8.1	35.9	2117
	KM ₉		8.2	32.8	2348
	KM ₁₀		8.6	47.8	1850
K2	K2 ₁	Kozlu 3. Kartiyeye -485 Çay Damarı ayaktan alınan kömür	9.6	44.6	2040
	K2 ₂		8.2	43.2	1782
	K2 ₃		8.9	46.3	1814
K1K	S ₁	Kozlu -447 Nefeslikten alınan Kumtaşı Örneği	9.9	30.3	3102
	S ₂		10.2	30.1	3223
	S ₃		10.2	32.1	3022
Ü1M	M ₁	Üzülmez 3. Ocak Kırşlı Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan alınan Marn Örneği	10	20.1	4726
	M ₂		10.3	20.7	4734
	M ₃		10.3	20.3	4828
K4	KM ₁	Kozlu -485 Milopero (Kurul) Damarı Kartiyeye 4 Kömür Örneği	15.1	76.1	1984
	KM ₂		14.5	70.5	2057
	KM ₃		9.6	55	1745
Ü2M	MN ₁	Üzülmez 3. Ocak Kırşlı Yarı Mekanize -273 Çay Ayaktan alınan Marn Örneği	12.4	31.1	3987
	MN ₂		12	28.8	4167
	MN ₃		11.4	27.5	4145
	MN ₄		10.1	23.9	4226
	MN ₅		9	20.4	4412
	MN ₆		8.2	19.1	4293

ÖZGEÇMİŞ

Yunus İSKENDER İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon 'da tamamladı. 2015 yılında lise eğitimini bitirdi. 2020 yılı Temmuz ayında KTÜ Maden Mühendisliği bölümü lisans programından mezun oldu. 2021 yılında, mezun olduğu bölümde yüksek lisans eğitimine başladı. Temmuz 2022 'de Maden Mühendisliği Anabilim Dalı 'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden Mekanizasyonu ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda bu görevine devam eden Yunus İSKENDER bekar ve iyi derecede ingilizce bilmektedir.

